

Helsinki 29.9.2004

ETUOIKEUSTODISTUS
PRIORITY DOCUMENT



REC'D 22 OCT 2004

WIPO

PCT

Hakija
Applicant

Nokia Corporation
Helsinki

Patenttihakemus nro
Patent application no

20035162

Tekemispäivä
Filing date

24.09.2003

Kansainvälinen luokka
International class

G06T

Keksinnön nimitys
Title of invention

"Menetelmä ja järjestelmä väritasapainon automaattiseksi säätämiseksi digitaalisessa kuvankäsittelyketjussa, vastaava laitteisto ja ohjelmalliset välineet menetelmän toteuttamiseksi"

Täten todistetaan, että oheiset asiakirjat ovat tarkkoja jäljennöksiä Patentti- ja rekisterihallitukselle alkuaan annetuista selityksestä, patenttivaatimuksista, tiivistelmästä ja piirustuksista.

This is to certify that the annexed documents are true copies of the description, claims, abstract and drawings originally filed with the Finnish Patent Office.

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Marketta Tehikoski
Apulaistarkastaja

Maksu 50 €
Fee 50 EUR

BEST AVAILABLE COPY

Maksu perustuu kauppa- ja teollisuusministeriön antamaan asetukseen 1027/2001 Patentti- ja rekisterihallituksen maksullisista suoritteista muutoksineen.

The fee is based on the Decree with amendments of the Ministry of Trade and Industry No. 1027/2001 concerning the chargeable services of the National Board of Patents and Registration of Finland.

Osoite: Arkadiankatu 6 A Puhelin: 09 6939 500 Telefax: 09 6939 5328
P.O.Box 1160 Telephone: + 358 9 6939 500 Telefax: + 358 9 6939 5328
FIN-00101 Helsinki, FINLAND

**MENETELMÄ JA JÄRJESTELMÄ VÄRITASAPAINON AUTOMAATTISEKSI
SÄÄTÄMISEKSI DIGITAALISESSA KUVANKÄSITTELYKETJUSSA, VASTAAVA
LAITTEISTO JA OHJELMALLISET VÄLINEET MENETELMÄN TOTEUTTAMI-
SEKSI**

5

Keksintö koskee menetelmää väritasapainon automaattiseksi säätämiseksi digitaalisessa kuvankäsittelyketjussa, jossa menetelmässä

- 10 - kohde kuvataan pikseleittäin värikomponenttien arvojoukoiksi,
- värikomponenttien arvojoukoista muodostetaan komponenttikohtaisia histogrammeja,
- komponenttikohtaisista histogrammeista muodostetaan kumulatiivisia histogrammeja,
- 15 - kumulatiivista histogrammeista määritetään ainakin yhdelle värikomponentille sitä vastaava valaistuksen väri,
- ainakin kahdelle värikomponentille määritetään tavoiteväriä ja määritettyä valaistuksen väriä
- 20 käyttäen väritasapainoa säätävä vahvistuskerroin. ,

Lisäksi keksintö koskee myös vastaavaa järjestelmää, laitteistoa ja ohjelmallisia välineitä menetelmän toteuttamiseksi

25

Ihmisen visuaalinen järjestelmä kykenee sopeutumaan tunnetusti erilaisiin valaistuksen väreihin. Näkökentässä olevilla kohteilla näyttää olevan muuttumattomat värit jonkin valaistuksen värin vaihtelualueen sisällä. Esimerkkinä
30 tällaisesta voidaan mainita tilanne, jossa valkoiset kohteet tunnistetaan valkoisina niin auringonvalossa kuin myös valkohehkuisessa valaistuksessa auringonvalon sinertävämmästä väristä huolimatta. Valaistuksen värin mennessä ihmisen sopeutumisalueen ulkopuolelle sopeutumisaste madaltuu, mutta
35 värissä aistitaan kuitenkin joitain muutoksia. Tällöin

esimerkiksi valkoiset kohteet näyttävät jotakuinkin keltaisilta niitä auringonlaskun aikaan katsottaessa.

Ihmisen näköjärjestelmän sopeutumismekanismeja ja käyttöä ei
 5 ole vielä täysin selvitetty ja ymmärretty. Osa sopeutumisesta tapahtuu verkkokalvolla, jossa värireseptorien herkkyydet muuttuvat niiden stimuloinnin mukaan yhtenäisesti tietyn ajanjakson aikana. Myös se tiedetään, että toista osaa sopeutumismekanismeista ohjataan aivokuorella, jossa
 10 tapahtuvat prosessit ovat hyvin monimutkaisia.

Sopeutumisprosessista osa näyttäisi käyttävän niin sanottuja muistivärejä oikeaa väritasapainoa arvostellessaan. Esimerkkejä muistiväreistä ovat sellaiset värit kuin
 15 valkoinen, ihonvärit, ruoho, taivas ja yleensäkin muut värit, joilla on tietty ensisijaisuus tietyissä ilmentymissä.

Digitaalikameroissa käytettävät sensorit eivät automaattisesti pysty tarjoamaan vastaavanlaista sopeutumiskykyä kuin ihmisen
 20 visuaalinen järjestelmä (ei edes verkkokalvoa vastaavaa toiminnallisuutta). Sensori määrittää kuvauskohteesta heijastuvan valon määrää ja väriä, ei siis lainkaan siihen liittyvää visuaalista aistimusta. Näin ollen otostetut kuvat, joille ei ole tehty mitään säätöä, näyttävät omaavan
 25 vääristyneen väritasapainon. Tämä siksi, koska kohteen katselemisen aikana ihmisen visuaalinen järjestelmä sopeutuu ympäristön valaistukseen kuvasisällön sijasta. Valkoiset kohteet saattavat esiintyä sinisinä tai keltaisina, riippuen siitä otetaanko kuva sisällä vai ulkona. Luonnollisesti
 30 valaistuksesta riippuen myös muita värejä voi esiintyä.

Muun muassa edellä mainitusta seikasta johtuen on digitaalisissa kameralaitteissa ja yleensäkin kuvankäsittelyketjuissa suoritettava jonkinlaista väritasapainonsäätöä. Säätöä
 35 kutsutaan hyvin usein automaattiseksi valkotasapainoksi tai

valkotasapainoksi (white balance), jos säätö suoritetaan manuaalisesti. Tavoitteena on säätää väritasapainoa siten, että kuva näyttäisi luonnolliselta neutraaleissa katseluolosuhteissa.

5

Ongelma, joka liittyy kunnollisen väritasapainon saavuttamiseen, on kuitenkin hyvin vaikea. Ihmisen visuaalisen järjestelmän toiminta on hyvin monimutkainen, eikä sitä ole vielä kyetty edes täysin analysoimaan ja ymmärtämään.

10 Yleisesti ongelma voidaan jakaa kuitenkin kahteen osaan. Nämä ovat 1) valaistuksen värin arvioiminen kuvanoton aikana ja 2) sen edellyttämä korjaustyyppin määrittäminen ja sopivan korjausmäärän laskeminen ja sovittaminen otostettuun kuvaan.

15 Automaattiset järjestelmät suorittavat nämä tehtävät ilman kameralaitteen käyttäjältä edellytettäviä toimenpiteitä. Manuaalisesti suoritettavissa valaistuksen värin säätömenetelmissä valaistuksen väri asetetaan kameraan käyttäjän toimesta. Kamerassa voi olla esimääritettyjä
20 asetuksia, kuten esimerkiksi sisä- ja ulkokuvausmoodit tai värilämpötilansäätö. Käyttäjä voi myös osoittaa kamerallaan tunnettua väriä, joka on tyypillisesti valkoinen, ja josta kamera sitten määrittää korjauksen perustuen tähän valittuun referenssiväriin.

25

Tunnetussa tekniikassa esitetään runsain määrin ratkaisuja edellä esitetyille ongelmille, koska väritasapainon säätäminen on ehdoton välttämättömyys digitaalisissa kuvauslaitteissa. Säätö voidaan toteuttaa joko kamerassa tai otostetun kuvan
30 jälkiprosessointina jossain muussa laitteessa (esimerkiksi kuvankäsittelyohjelmassa PC:llä).

Käyttäjän kannalta ehkä miellyttävin tapa ongelman ratkaisemiseksi on kameraan järjestetty automaattinen
35 väritasapainon säätötoiminto, joka toteutetaan kuvan

otostamisen yhteydessä. Tällaisessa ratkaisussa ei käyttäjältä edellytetä mitään erityistä kuvankäsittelytietämystä tai yleensäkkään edes kameran säätöpainikkeiden hallintaa.

- 5 Tunnetusti väritasapainon säätämiseksi on olemassa ainakin kolme perustyyppiä, jotka perustuvat valaistuksen värin arviointialgoritmien käyttöön.

Eräänä ensimmäisenä näistä algoritmeista voidaan mainita
 10 harmaan maailman algoritmit (Gray world algorithms). Nämä algoritmit perustuvat yksinkertaiseen näköaistin sopeutumiskyvyn emulointiin. Yksinkertaistetussa muodossaan näissä lasketaan kuvan keskimääräinen väri. Tällöin oletetaan, että tämän värin pitäisi olevan neutraali eli harmaa. Kuvan
 15 värikomponentteja säädetään siten, että sen keskimääräinen väri siirtyy kohti tätä harmaata. Säädön määrää pyritään hallitsemaan siten, että koko ihmisen näkökyvyn sopeutuvuus saataisiin otettua jotakuinkin huomioon. Harmaan maailman algoritmit ovat hyvin yleisesti käytettyjä digitaalisten
 20 kameralaitteiden väritasapainonsäätöalgoritmien perustana.

Eräänä toisena tällaisena säätöalgoritmina tunnetaan kirkkaimman valkoisen tasapaino (Brightest white balance). Täysin valkoinen pinta heijastaa tunnetusti koko valaistuksen
 25 spektrin. Näin ollen valkoisten alueiden väri kertoo myös valaistuksen värin. Täydellisessä sopeutumisessa valkoisten alueiden pitäisi säilyä valkoisina, joten valaistuksen väri voidaan suoraan kompensoida. Kuvien kirkkaimmat alueet ovat yleisimmin valkoisia pintoja ja tämän seurauksena kirkkautta
 30 voidaan käyttää valkoisten alueiden etsinnässä.

Myös värisaturaatio ja värivivahteet (hue) voidaan huomioida. Näitä ominaisuuksia voidaan käyttää myös väritasapaino-
 korjauksen määrän ja tyyppin määrittämiseen siten, että
 35 näkökyvyn sopeutuvuus voidaan ottaa jotakuinkin huomioon.

Johtuen valkoisen värin hallitsevasta tärkeydestä, koko joukkoa väritasapainoalgoritmeja kutsutaan usein valko-tasapainoksi, vaikka ne eivät edes mittaisi valaistuksen väriä valkoisesta tai tasapainottaishi valkoista väriä.

5

Eräänä kolmantena esimerkkinä voidaan vielä mainita maksimiväriin perustuvat algoritmit. Jos kuvassa on yksikin pinta, joka heijastaa täydellisesti valaistusspektrin jonkin osan, on tämä osa spektristä sitten tunnettu. Koko spektri voidaan rekonstruoida, jos on olemassa täydellisesti heijas-
 10 tava pinta spektrin joka osalle. Tyypillisesti kamerasensorit eivät mittaa koko spektriä, vaan joitain sen alinauhoja tai värikanavia. Näin ollen, jos kuva sisältää pintojen yhdistelmiä, jotka heijastavat täydellisesti valaistuksen osat
 15 vaikuttaen näihin värikanaviin, valaistuksen vaikutusta kuvan ulkoasuun voidaan arvioida.

Useimmat digitaalikamerat, mutta ei kuitenkaan kaikki, tallentavat näkymän värit kolmella värikanavalla. Nämä ovat
 20 tyypillisesti punainen, vihreä ja sininen (RGB). Hieman yksinkertaistaen tämä tarkoittaa sitä, että jos kuva sisältää täydellisesti valaistusvärin punaisen, vihreän ja sinisen osan heijastavia pintoja, valaistuksen väri voidaan näistä arvioida.

25

Tyypillisesti jokaisen värikomponentin maksimi-arvo liittyy täydelliseen heijastukseen. Tällä oletuksella voidaan päätellä, että värikomponenttien maksimi-arvot määrittelevät myös valaistuksen värin. On huomattava, että melko usein nämä
 30 arvot heijastuvat kirkkaimmasta valkoisesta pinnasta. Tällaisessa tapauksessa maksimiväriin perustuvien menetelmien käyttö on lähellä kirkkaimman valkoisen algoritmeja. Kuitenkin, maksimivärimenetelmillä valkoisen läsnäolo ei ole mitenkään välttämätöntä. Sopivimmat väriavaruudet toteu-
 35 tukselle ovat myös erilaiset. Kuten muutkin menetelmät, myös

maksimiväriin perustuvat menetelmät saattavat säätää korjauksen määrää ja tyyppiä arvioituun valaistukseen perustuen.

5 Edellä kuvattuja menetelmiä voidaan myös lisäksi yhdistellä. Näin ollen, jotkut menetelmät saattavat kuulua useampaankin edellä mainituista ryhmistä. Väritasapainosäädön robustisuutta voidaan kasvattaa käyttäen useita menetelmiä samanaikaisesti ja yhdistäen järkevällä tavalla niiden tuloksia.

10

Kameralaitespesifisissä kuvankäsittelyketjuissa on väritasapainoalgoritmien toimittava yhteistyössä muiden kuvankäsittelyalgoritmien kanssa. Tämä ketju voidaan toteuttaa itse varsinaisessa kameralaitteessa tai myös jälkiprosessointitoimintoina jossain toisessa laitteessa. Ketjun tyypilliset algoritmit ovat väritasapainosäädön lisäksi värinsuodatusmatriisin interpolointi (color filter array interpolation, CFAI), digitaalisen vahvistuksen hallinta (digital gain control), mustan tason säätö (black level adjustment), kohinan poisto (noise reduction), reunakorjaus (vignetting correction), geometrisen vääristymän korjaus (geometrical distortion correction), kuvan parantelu (image enhancements), kuten esimerkiksi terävöittäminen (sharpening) ja gammakorjaus (gamma correction) tai muun tyyppinen sensorivasteen korjailu.

25

Ketjun toteutus voi olla myös jakautunut osittain kamerassa suoritettaviin ja osittain jälkiprosessointina suoritettaviin toimintoihin. Lisäksi ne voidaan toteuttaa niin laitteistokuin ohjelmistoratkaisuinkin. Toteutukset voivat olla täydellisesti irrallaan toisien algoritmien toteutuksista, joten ne voivat ottaa syötteenä analysoitavaksi ja prosessoitavaksi edelliseltä algoritmilta pelkän kuvadatan ilman mitään muuta informaatiota liittyen esimerkiksi edeltävään algoritmiin.

35

Algoritmien välinen yhteistyö voi toisaalta olla myös hyvinkin läheistä. Tyypillisenä esimerkkinä tästä voidaan mainita järjestely, jossa väritasapainonsäätöalgoritmi voi hallita värikomponenttien vahvistuksia. Ratkaisut voidaan toteuttaa
 5 sekä analogisina että digitaalisina. Kaiken kaikkiaan olisi hyvin edullista, että väritasapainonsäätöalgoritmi olisi kameraspesifisessä kuvankäsittelyketjussa mahdollisimman tehokkaasti ja luonnollisesti toteutettavissa.

10 Tunnetun tekniikan mukaisissa ratkaisuissa pääasiallinen heikkous on tehoton tai virheellinen toiminta. Algoritmista riippuen näiden vaikutus vaihtelee. Yleinen ongelma kaikille menetelmille on (esimerkiksi auringonlaskun aikana kuvatuissa otoksissa) saavuttaa kompromissi tehokkaalla tavalla
 15 tapahtuvan väritasapainon säätämisen ja näkymän väriulkoasun menettämisen välillä. Tämän lisäksi jokaisella algoritmiryhmällä on niille tyypilliset virhetapauksensa.

Harmaan maailman algoritmit säätävät kuvan värisisältöä siten,
 20 että kuvan keskimääräinen vaikutelma tulee neutraaliksi. Pääongelma näissä on se, että neutraalit kuvat ovat optimaalisia vain joissain erikoistapauksissa. Nämä ovat kuvia, joissa pitäisi tasapainotuksen jälkeen olla yhtä suuri määrä kaikkia värejä. Vastakohtana tälle on esimerkiksi
 25 kasvokuva, jossa keskivärin pitäisi olla selvästi siirtynyt kohti ihonvärejä. Tämä menetelmä on myös hyvin herkkä kuvassa oleville suurille värialueille. Nämä vääristävät väritasapainoa kohti kohteen vastaväriä. Näiden algoritmien robustisuutta on lisätty käyttäen useita modifikaatioita.
 30 Esimerkiksi, värisävyä (hue), saturaatiota tai avaruudellista jakaumaa keskiarvolla painotettuna voidaan käyttää siten, että hyvin saturoituneiden värien ja suurien alueiden vaikutus vähenee. Kuitenkin samantyyppiset ongelmat jäävät silti jäljelle, ellei väritasapainotuksen vaikutusta rajoiteta.

Tässä tapauksessa monia sellaisia kuvia, jotka tarvitsevat tasapainotusta, jäävät korjaamatta.

Kirkkaimman valkotasapainon algoritmit ovat hyvin herkkiä pikseliarvojen saturoitumiselle. Kun kamerasensorin dynaaminen alue ylitetään, pikseliarvot rajoitetaan maksimiarvoon. Kirkkaimman valkotasapainon algoritmi on erittäin soveltuva käytettäväksi sellaisten väriavaruuksien kanssa, jotka määrittelevät kirkkaussignaalin. Kuitenkin, tyypillisesti sensori määrittää värin RGB värikanavista. Näin ollen myös saturaatiota ilmenee RGB-alueella (domain). Jos kaikki komponentit ovat saturoituneita, kirkkaimman valkotasapainon menetelmä arvioi virheellisesti valaistuksen värin valkoiseksi, jonka seurauksena tasapainotusta ei suoriteta. Jos yksi tai kaksi komponenttia saturoituu, löytyy jokin muu valaistuksen värin virhearvio. Nämä menetelmät edellyttävät myös kuvasta löytyvää valkoista pintaa. Muutoin menetelmä epäonnistuu arvioidessaan valaistuksen väriä.

Maksimiväriin perustuvat menetelmät ovat myös herkkiä pikseliarvojen saturoitumiselle. Tavallisesti nämä menetelmät valitsevat jonkin määrän kirkkaimpia arvoja, jotka määrittelevät valaistuksen värin. Näin ollen hieman saturoitumista sallitaan. Kuitenkin, joissain tapauksissa tämä aiheuttaa ongelmia. Algoritmi vaatii myös sen, että kaikille värikomponenteille on kuvauskohteesta löydettävissä täydellisesti heijastavia pintoja. Koska tätä ehtoa ei täytetä esimerkiksi luontokuvien tapauksessa, myös näillä menetelmillä on tapana ajoittain epäonnistua.

30

Myös melko oleellisesti väritasapainon säädön onnistumiseen liittyvissä toiminnoissa on tunnetusti puutteita tai ainakin niiden yhteensovittaminen väritasapainon säädön kanssa on ollut ongelmallista. Eräinä esimerkkeinä näistä toiminnoista mainittakoon sensorin huonous-ominaisuuksista aiheutuva tarve

35

offsetkorjaukseen (biasing) ja reunakorjaukseen. Useimmissa tapauksissa sensorille olisi melkeinpä välttämätöntä tehdä jonkinlaista offsetkorjausta, koska muutoin sensori tuottaa signaalin, vaikka sillä detektoitaisiin täysin mustaa. Myös
 5 tarve reunakorjaukselle syntyy useimmiten sensorin "huonoudesta", jolloin reuna-alueilla saattaa ilmetä tummentumia.

Tämän keksinnön tarkoituksena on saada aikaan uudenlainen menetelmä ja järjestelmä väritasapainon automaattiseksi
 10 säätämiseksi digitaalisessa kuvankäsittelyketjussa. Keksinnön mukaisen menetelmän tunnusomaiset piirteet on esitetty oheisessa patenttivaatimuksessa 1 ja järjestelmän patenttivaatimuksessa 14. Lisäksi keksintö koskee myös vastaavaa laitteistoa, jonka tunnusmerkilliset piirteet on esitetty
 15 patenttivaatimuksessa 19 ja ohjelmallisia välineitä menetelmän toteuttamiseksi, joiden tunnusmerkilliset piirteet on esitetty patenttivaatimuksessa 20.

Pääpiirteittäin keksinnön mukaisessa menetelmässä kohde
 20 kuvataan aluksi pikseleittäin värikomponenttien (R, G, B) arvojoukoiksi, ja joista erään suoritustavan mukaan kustakin arvojoukosta keksinnön menetelmän mukaisesti suodatetaan pois ainakin sellaiset yksittäiset pikseliarvot tai useista pikseliarvoista muodostuvat kuvakohdat, jossa kuvakohdan yksi
 25 tai useampi pikseliarvo yhdessäkin arvojoukossa ylittää/täyttää valitun kriteerin. Tällä tavoin voidaan eliminoida esimerkiksi saturoituneiden pikselien aiheuttamaa vääristymää valaistuksen väriä arvioitaessa.

30 Suodatetuista arvojoukoista muodostetaan sitten värikomponenttien kumulatiiviset histogrammit, joiden värikäyristä määritetään keksinnön mukaisella tavalla kullekin värikomponentille sitä vastaava valaistuksen väri (R_{111} , G_{111} , B_{111}).

Keksinnön mukaisessa menetelmässä valaistuksen väri määritetään kunkin suodatetun kumulatiivisen histogrammin päässä värikäyrän tasaiselta alueelta. Tasaiselta alueelta etsitään sellainen kullekin värikomponentille yhteinen piste h_i , jossa peräkkäisten pikseli-intensiteettiarvojen suhde C_i / C_{i+1} (tai erotus) täyttää sille asetetut kriteeritiedot. Pisteiden h_i jakoväli, joka siis on jokaiselle värikomponentille sama, voidaan kumulatiivisessa histogrammissa asettaa varsin tarkoituksenmukaiseksi, johtuen muun muassa menetelmän aikaisemmassa vaiheessa suoritetusta saturoituneiden pikselien pois suodatuksesta. Tällä tavoin määritettyjä valaistuksen värejä käytetään sitten väritasapainoa säättävän komponenttikohtaisten funktiokuvauksien (componentwise mappings) muodostamiseen. Sinänsä valaistuksen väri voidaan kompensoida millä tahansa tunnetulla menetelmällä. Keksintö kohdistuu pikemminkin tämän valaistuksen värin määrittämiseen. Eräässä suoritussuodossa tasainen alue tunnistetaan kahdella värikomponentilla ja ainakin yhtä värikomponenttia säädetään.

20

Keksinnön mukaisella menetelmällä mahdollistetaan väritasapainon korjausvahvistuksen robusti ja tehokas hallinta ja tyyppinmääritys. Lisäksi sillä saavutetaan hyviä tuloksia myös hankalissa valaistusolosuhteissa.

25

Keksinnön mukainen väritasapainon säätömenetelmä on hyvin tehokkaalla tavalla toteutettavissa kameraspesifisissä kuvannusketjuissa. Se saadaan toimimaan luonnollisella tavalla yhteistyössä muiden algoritmien kanssa. Menetelmän kohtuulliselle tasolle jäävä kompleksisuusaste tekee siitä soveltuvan esimerkiksi kameralaitteisiin. Toisaalta menetelmän soveltaminen esimerkiksi kameralaitteen ulkopuolella tapahtuvassa jälkiprosessoinnissa on myös mahdollista.

30

- Erään sovellusmuodon mukaan keksinnön mukaisessa menetelmässä sovelletaan valaistuksen värin määritykseen kolmea alikriteeriä. Näissä vertaillaan asetetulla tavalla peräkkäistä kumulatiivisuusjakoa vastaavia pikseli(inten-
- 5 siteetti)arvosuhteita niille asetettuihin kolmeen kriteeri-arvoon. Kriteeriarvot voivat esimerkiksi perustua kokemusperäiseen tietoon siten, että niillä on todettu löydettäväksi väritasapainonsäädöllisesti hyvä tulos.
- 10 Erään toisen sovellusmuodon mukaan ennen keksinnön mukaista väritasapainonsäätöä voidaan raakamatriisin pikseliarvoille suorittaa lisäksi esimerkiksi pedestaalien eliminointi. Tällä saadaan aikaan sensorin aiheettomasti tuottamien signaalien merkittävä väheneminen.
- 15 Vielä eräitä keksinnön mukaiseen menetelmään integroitavissa olevia toiminnallisuuksia ovat reunakorjaus (vignetting elimination), tumman värin korjaus ja gammakorjaus.
- 20 Keksinnön mukainen menetelmä voidaan toteuttaa jopa täysin automatisoidusti kameralaitteessa, mutta myös toisaalta jälkiprosessointina. Lisäksi käyttäjän oman harkinnan liittäminen menetelmän yhteyteen voidaan toteuttaa myös helposti.
- 25 Keksinnön mukaisen menetelmän ja järjestelmän integroiminen niin nykyisien kuin myös vasta suunnitteilla oleviinkin kuvankäsittelyketjuihin ja kameralaitteistoihin voidaan suorittaa melko yksinkertaisesti. Keksinnön mukainen menetelmä ei juuri-
- 30 kaan lisää kameralaitteen kompleksisuutta siinä määrin, että siitä olisi mainittavaa haittaa esimerkiksi laitteiden prosessointitehoon tai muistinkäyttöön. Erään sovellusmuodon mukaan jopa pelkästään puhtaana ohjelmistotason toteutuksena toteutettavissa oleva menetelmä voidaankin integroida erityisen
- 35 helposti esimerkiksi kameralaitteisiin. Myös puhtaat laitteis-

totason toteutukset ja laitteisto/ohjelmistotasojen kombinaatiototeutukset ovat luonnollisesti mahdollisia.

Muut keksinnön mukaiselle menetelmälle, järjestelmälle,
 5 laitteistolle ja ohjelmallisille välineille ominaiset piirteet
 käyvät ilmi oheisista patenttivaatimuksista ja lisää
 saavutettavia etuja on lueteltu selitysosassa.

Seuraavassa keksinnön mukaista menetelmää, järjestelmää, lait-
 10 teistoa ja ohjelmallisia välineitä menetelmän toteuttamiseksi,
 joita ei ole rajoitettu seuraavassa esitettäviin suoritus-
 muotoihin, selostetaan tarkemmin viittaamalla oheisiin kuviin,
 joissa

- | | | |
|----|----------------|--|
| 15 | Kuva 1 | esittää erästä esimerkkiä keksinnön mukaisesta kuvankäsittelyketjusta kaavio-kuvana, |
| | Kuva 2 | esittää erästä esimerkkiä värikomponentti-pikseleistä sensorilla, |
| 20 | Kuvat 3a ja 3b | esittävät vertailua tunnetun tekniikan ja keksinnön mukaisen menetelmän välillä niistä komponenttikohtaisia histogrammeja muodos-tettaessa, |
| 25 | Kuvat 4a - 4c | esittävät komponenttikohtaisia kumulatiivisia histogrammeja periaatteellisena sovel-lusesimerkkinä keksinnön mukaisen menetelmän yhteydessä, |
| | Kuva 5 | esittää offsetkorjauksen periaatetta kaavio-kuvana, |
| 30 | Kuva 6 | esittää tumman värin korjauksen periaatetta kaaviokuvana, |
| | Kuva 7 | esittää histogrammien muokkautumista keksin-nön menetelmän mukaisesti, |
| 35 | Kuva 8 | esittää esimerkkejä gammakorjauskäyristä periaatteellisena sovellusesimerkkinä ja |

Kuva 9 esittää taulukoituna esimerkkiä keksinnön mukaisessa väritasapainonsäätömenetelmässä käytettävistä kriteeriarvoista.

5 Kuvassa 1 on esitetty eräs esimerkillinen kaaviokuva keksinnön mukaisesta digitaalisesta kuvankäsittelyketjusta 10. Tällainen kuvankäsittelyketju 10 voidaan järjestää esimerkiksi digitaaliseen kameralaitteistoon tai yleensäkin kamerasensorilla varustettuun laitteeseen, joita nykyisin
10 löytyy esimerkiksi jopa matkaviestimistä. Keksinnön mukainen väritasapainon korjausmenetelmä soveltuukin hyvin lukuisiin erilaisiin kamerakohtaisiin kuvannusketjuihin, jotka luonnollisesti voivat toteutuksiltaan poiketa kuvassa 1 esitetystä. Lisäksi ketjun 10 soveltaminen myös
15 jälkiprosessointiin on luonnollisesti mahdollista esimerkiksi ohjelmallisoin välinein toteutettuna (esim. kuvankäsittely-ohjelmistojen yhteydessä).

Väritasapainonsäätömenetelmän ja muiden kuvannusketjuun 10
20 järjestettyjen toimintojen välinen yhteistoiminta on myös varsin helposti toteutettavissa tehokkaalla tavalla. Keksinnön mukainen menetelmä esitetään tässä tapauksessa kuvannusketjussa 10, joka käsittää CFAI:n, reunakorjauksen (vignetting elimination) VE, sensorin offsetkorjauksen
25 (pedestal elimination) PE ja gammakorjauksen/arvioinnin GE, GA. Missä kohtaa tahansa ketjua 10 voi siihen kuulua luonnollisesti myös muita signaalinkäsittelytoimintoja, joista esimerkkinä ennen gammakorjausta GA sovitettu väriasteikko-konversio CGC (color gamut conversion) (ei esitetty).

30 Itse keksinnön mukainen väritasapainon säätömenetelmä käsittää useita osavaiheita, kuten valaistuksen värin arviontivaiheen CBA ja korjausvaiheen CBC. Kuvassa 1 esitetään väritasapainon säätövaiheiden CBA, CBC suhde muihin kuvannusketjussa 10
35 oleviin toimintoihin. Kuvassa 1 ristiviivoitetut lohkot CBA,

CBC ovat menetelmän ydinosia. Puoliviivoitetut lohkot PE, GE, GC voivat toimia tiiviissä yhteistyössä keksinnön mukaisen menetelmän kanssa. Viivoittamattomat lohkot VE ja CFAI voivat olla riippumattomia, mutta liittyä myös väritasapainon säätöön.

Seuraavaksi keksinnön mukaista menetelmää ja järjestelmää kuvataan keksinnön mukaisessa kuvankäsittelyketjussa 10, jollainen voi olla esimerkiksi keksinnön mukaisessa kameralaitteistossa, yksittäisenä sovellusesimerkkinä lähtien liikkeelle väritasapainonsäätöön liittyvistä toiminnoista CBA, CBC.

Ensimmäisenä vaiheena itse väritasapainon säädössä on valaistuksen värin R_{111} , G_{111} , B_{111} arvioiminen. Keksinnön mukaisessa menetelmässä arviointi suoritetaan kuvan värikomponenttihilogrammeihin perustuen. Tällöin pääväreistä R, G, B muodostetaan komponenttikohtaiset värikäyrät.

Histogrammien X-akselilla kuvataan pikselien kirkkautta/tummuutta (intensiteettiä) siten, että esimerkiksi X-akselin oikeimmassa päässä on kirkas pää ja vasemmassa päässä on tumma pää. Vastaavasti Y-akselilla kuvataan kutakin kirkkaustasoa vastaavaa pikselien lukumäärää. Histogrammin muodostaminen edustaa sinänsä tunnettua tekniikkaa, eikä sitä sen vuoksi tässä yhteydessä enempää selvitetä. Kunkin värikomponentin (R, G, B) signaaliarvojen (eli intensiteettiä) histogrammit mitataan toisistaan erillisinä.

Komponenttikohtaiset histogrammit voidaan kerätä joko interpoloidusta signaalista, mutta myös ennen signaalin interpolointia, jota käytetään tässä tapauksessa esimerkkitoteutuksena. Tämä tarkoittaa sitä, että värikomponenttihilogrammit voidaan määrittää raakakuvan (Raw

image) datasta, jossa kukin kamerasensorin fyysinen pikseli edustaa ainoastaan yhtä värikomponenttia. Vaikkakin tässä sensorin värijärjestelmää kuvataan RGB-tasossa, alan ammattimiehelle ovat ilmeisiä myös muut tavat (CMYK, YUV, jne.).

Tyypillinen toteutus tällaisen toimenpiteen suorittamiseksi on esimerkiksi hyvin tunnettu Bayer-matriisi järjestely, jota esitetään kuvassa 2. Yleisemmällä tasolla kyseeseen tulee kohteen kuvaaminen pikseleittäin värikomponenttien R, G, B arvojoukoiksi [R], [G], [B]. Hakemuksessa kuvatun RGB-sovellusesimerkin tapauksessa kaksi pikseliä neljästä on vihreitä ja yksi pikseli punainen ja yksi sininen. Vihreitä on enemmän, koska se kuvaa parhaiten luminanssia ja on näin silmän kannalta tärkein. Toisaalta myös sellainen sensori on mahdollinen, että esimerkiksi vain joka viides pikseleistä edustaa vihreää väriä G. Tyypillisesti sensorit ovat herkempiä vihreälle värille kuin punaiselle tai siniselle.

Histogrammit kerätään skannaamalla kuvan pikselit läpi. Jokaiselle värikomponentille R, G, B lasketaan jokaisen mahdollisen signaalitason esiintymien lukumäärä. Näin ollen esimerkiksi RGB-kuvan tapauksessa saadaan kolme histogrammia, jotka esitetään kuvassa 3a.

Kuvassa 3a esitetystä tapauksesta on kuitenkin havaittavissa eräs merkittävä epäkohta, joka liittyy yleisesti valaistuksen värin arvioinnin tekniikan tasoon. Tämä ongelma aiheutuu mahdollisten saturoituneiden pikselien haittavaikutuksesta, joista kussakin otoksen kuvakohdassa 15.1 - 15.3 jo yksikin saturoitunut pikseli $G_{(s)}$ häiritsee kuvakohdan muita pikseleitä R, G, B. Histogrammissa 3a tämä tarkoittaa suurta pikselimäärää, joilla on suurin signaaliarvo. Tämä aiheuttaa ongelmia, joita kuvattiin tarkemmin jo aiemmin hakemuksessa.

Histogrammeista tämä on havaittavissa kussakin värikyörässä R, G, B olevina piikkeinä (kuvassa 3a).

Keksinnön mukaisessa menetelmässä yllättävästi histogrammin keräysvaiheessa hylätään nämä saturoituneet pikselit $G_{(s)}$ ja lisäksi mahdollisesti myös niitä vastaavan saman kuvakohdan 15.1 muiden värien pikselit R, G, B. Tällaisen toimenpidevaiheen vaikutusta histogrammeihin keksinnön mukaisessa menetelmässä esitetään kuvassa 3b. Toimenpiteen seurauksena histogrammien jakaumista poistuu korkeat huiput, jotka muutoin aiheuttaisivat virhettä tunnetuussakin tekniikassa ilmenevään valaistuksen värin arvioon.

Pikseliarvojen suodattaminen kustakin arvojoukosta [R], [G], [B] suoritetaan ennen kumulatiivisten histogrammien muodostamista. Suodatus kohdistetaan sellaisiin pikseliarvoihin $G_{(s)}$ tai niiden lisäksi sellaisien kuvakohtien 15.1 pikseleihin, jossa saman kuvakohdan 15.1 yksikin pikseliarvo yhdessäkin kuvakohdan arvojoukossa [R], [G], [B] ylittää tai täyttää sille asetetun valitun kriteerin.

Keksinnön mukainen valaistuksen värin arvioiminen ei häiriidy näiden saturoituneiden pikselien $G_{(s)}$ ja saman kuvakohdan 15.1 muidenkin pikselien R, G, B hylkäämisestä, vaan sitä vastoin väriarvion luotettavuus kasvaa. Saturaation määrittelevä rajakohta eli kriteeriarvo voidaan asettaa siten, että menetelmän yhteentoimivuus esimerkiksi myöhemmin tarkemmin kuvattavan offsetkorjaus -vaiheen kanssa (pedestal elimination) saadaan edulliseksi. Edullinen arvo riippuu toteutuksen yleisjärjestelystä. Esimerkkitapauksena voidaan käyttää sellaista kriteeriarvoa, joka saadaan, kun maksimaalisesta signaaliarvosta vähennetään tekijä $\text{pedestaaliarvo}/2$, jossa pedestaaliarvo voi olla esimerkiksi 64. Vastaavalla tavalla voidaan käsitellä myös tummaa päätyä.

Jos yksikin saman kuvakohdan 15.1 pikselien värikomponenteista R, G, B on siis saturoitunut ($G_{(s)}$), niin tällöin myös muutkin kuvakohdan 15.1 komponenttitarvot R, G, B hylätään. Raakakuvas tapauksessa, jolle ei ole tehty CFAI:ta, tämä tarkoittaa sitä,
 5 että kaikki samaan raakapikseliryhmään 15.1 kuuluvat värikomponentit R, G, B hylätään. Tätä ja sen vaikutusta kerättyihin histogrammeihin havainnollistetaan periaatteell-
 lisella tasolla kuvissa 3a ja 3b.

- 10 Kuvissa 3a ja 3b on kolme raakapikseliryhmää 15.1 - 15.3, joista yhdessä ilmenee kyseinen saturaatio-ongelma vihreässä pikselissä $G_{(s)}$. Tällöin kuvan 3a histogrammissa, jota muodostettaessa huomioidaan kaikki kuvakohdat eli raakapikseliryhmät 15.1 - 15.3, siihen muodostuu piikkejä.
 15 Kuvassa 3b ongelmia aiheuttava raakapikseliryhmä 15.1 hylätään, jolloin myös komponenttien histogrammikäyrät R, G, B loivenevat oleellisesti.

- Menetelmän seuraavassa vaiheessa valaistuksen väriä arvioidaan
 20 suodatetuista värikomponenteista muodostetuista histogrammeis-
 ta. Kuvissa 4a - 4c esitetään värikomponenttien R, G, B kumulatiiviset histogrammit, jotka muodostetaan varsinaisista histogrammeista ja joista on suodatettu pois saturoituneet pikselit $G_{(s)}$ ja niitä vastaavat kuvakohdat 15.1 edellä
 25 kuvatulla tavalla. Erään suoritustavan mukaisesti kumulatiivisissa histogrammeissa voidaan esittää esimerkiksi X-akselilla ennalta asetetuin valituin välein pikseliprosenttiosuuksien tai pikselilukumäärän kumulatiivinen summa tai jokin muu pikselimäärä/osuutta vastaava suure,
 30 jolloin Y-akselilla voidaan esittää näitä kohtia vastaavat intensiteettitarvot. Sovellustavan mukaisessa esimerkkitapauksessa X-akselille on ennalta asetetuin välein asetettu esimerkiksi pikselien kumulatiiviset prosenttiosuudet h_i , ilmoittavat kuinka suuri osa (tai lukumäärä) suodatettujen

pikselien lukumäärästä on ennen niitä vastaavaa intensiteettikohtaa R_i , G_i , B_i .

5 Tekniikan tason mukaisissa menetelmissä valaistuksen väriä arvioidaan kumulatiivisten histogrammien pisteistä määritetyllä värillä, joka edustaa tiettyä pikselien prosenttiosuutta, joilla on referenssiarvoa pienemmät arvot.

Keksinnön mukaisessa menetelmässä valaistuksen väri
10 määritetään suodatettujen kumulatiivisten histogrammien kirkkaimman pään sellaiselta alueelta (kuviissa 4a - 4c histogrammeissa värikyvän oikeanpuolimainen pääty), joka on oleellisen tasainen. Tällä tasaisella tai oleellisesti sellaiseksi mielletävällä (verrattuna esimerkiksi käyrän
15 muihin alueisiin) alueella histogrammin käyrä ei enää oleellisesti nouse sille asetettujen kriteeriehtojen mukaisesti eli värin intensiteetti-arvo ei enää oleellisesti muutu sille asetettujen ehtojen mukaisesti.

20 Eräässä suoritusmuodossa saturaatiopikseleistä $G_{(s)}$ ja niiden kuvakohdista 15.1 suodatetuista) kumulatiivisista histogrammeista suoritettava värikyvien tasaisten alueiden etsimisproseduuri on oleellisessa osassa. Kun ennalta määrätyt asetetulla tavalla kiinnitetyt kumulatiiviset
25 pikseliosuuskohdat h_1 , h_2 , ..., h_n on asetettu ja näitä kohtia vastaavat intensiteetti-arvot ($R_1 - R_n$, $G_1 - G_n$, $B_1 - B_n$) on laskettu, haetaan keksinnön menetelmän pääperiaatteen mukaisesti värikyvien R , G , B tasaiselta alueelta sellainen kullekin värikyvälle R , G , B yhteinen asetetuin välein
30 määritetty kohta h_i , jossa näiden asetetuin jakovälein määritettyjä peräkkäisiä kohtia h_i , h_{i+1} vastaavien pikseli-intensiteetti-arvojen suhde C_i / C_{i+1} ($C = R, G, B$) täyttää sille asetetut kriteeriedot.

Valaistuksen väri R_{i11} , G_{i11} , B_{i11} määritetään näitä kohtia h_i vastaavia peräkkäisiä intensiteetti-arvoja C_i , C_{i+1} analysoimalla keksinnön menetelmän mukaisesti. Voidaan havaita, että jos pikseliarvojen saturaation suodatusvaihe
 5 sivuutetaan, on kyseessä pitkälti tekniikan tason mukainen menetelmä, joissa valaistuksen väriksi arvioidaan pistejoukko (R_i, G_i, B_i) , joka riippuu kulloinkin valitusta prosentuaalisesta kynnsarvosta. Keksinnön mukaisessa menetelmässä väriä arvioidaan kuitenkin kehittyneemmällä
 10 algoritmilla, joka asettaa tiettyjä alikriteerejä valaistuksen väriä $(R_{i11}, G_{i11}, B_{i11})$ vastaaville kohdille h_i .

Valaistuksen väriä $(R_{i11}, G_{i11}, B_{i11})$ vastaavat kohdat h_i etsitään kasvattamalla arvoa i , kunnes asetettu värikäyrän
 15 tasaisuusehto täyttyy oleellisesti jokaisella käyrällä R , G , B . Valaistuksen väriksi $(R_{i11}, G_{i11}, B_{i11})$ asetetaan kohtaa h_i (eli kyseistä kohtaa vastaavaa prosenttiosuutta) vastaava intensiteettiarvo R_i , G_i , B_i , joka kullakin värikomponentilla R , G , B on yleensä erilainen.

20

Tämä kriteeri voidaan erään sovellusmuodon mukaan lausua myös kolmena alikriteerinä. Näistä alikriteereistä ensimmäisessä vaiheessa voidaan etsiä jokaisesta värikomponenttikäyrästä R , G , B sellainen käyrille R , G , B yhteinen kohta h_i , jossa
 25 peräkkäisten erityisellä tavalla asetettua kohtaa h_i , h_{i+1} vastaavien pikseli-intensiteettiarvojen C_i , C_{i+1} suhde r_c on pienempi kuin sille valittu ensimmäinen kynnsarvo t_1 . Toisin sanoen alikriteeri voidaan muotoilla matemaattisesti myös siten, että

30

$$r_c = \frac{C_i}{C_{i+1}} < t_1, \text{ missä } C = (R, G, B)$$

Seuraavana alikriteerivaiheena voidaan menetelmässä tutkia, että ensimmäisessä vaiheessa etsittyjen ja ensimmäisen

alikriteerin täyttävien pikseliarvojen suhteiden r_R , r_G , r_B summa on pienempi kuin sille asetettu toinen kynnyksarvo t_2 . Ellei tämä ehto toteudu, palataan takaisin ensimmäiseen vaiheeseen etsimään uutta ensimmäisen alikriteerin täyttävää
 5 värikomponenttikolmikkoa, jotka kaikki ovat siis samassa prosenttiosuuskohdassa h_i , mutta joiden tätä kohtaa h_i vastaavat intensiteetti-arvot R_i , G_i , B_i yleensä poikkeavat toisistaan. Tämä toinen alikriteeri voidaan matemaattisesti muotoilla myös siten, että

10

$$\frac{R_i}{R_{i+1}} + \frac{G_i}{G_{i+1}} + \frac{B_i}{B_{i+1}} < t_2$$

Jos toinen alikriteeri ei toteudu kyseisessä prosenttiosuuskohdassa h_i , palataan takaisin ensimmäiseen
 15 alikriteerivaiheeseen. Sen sijaan, jos toinenkin aliehto toteutuu löydetyllä värikomponenttikolmikolla (jotka löytyvät kohdasta h_i), siirrytään kolmanteen alikriteerivaiheeseen.

Kolmannessa alikriteerivaiheessa tarkistetaan, että
 20 ensimmäisessä alikriteerivaiheessa löydettyjen pikseliarvojen R_i , G_i , B_i muutoksien suhteellisten nopeuksien suhde maksimipikseliarvomuutoksen ja minimipikseliarvomuutoksen välillä on pienempi kuin sille asetettu kolmas kynnyksarvo t_3 . Ehto voidaan matemaattisesti muotoilla myös siten, että

25

$$\frac{\max((C_i - C_{i+1}) / C_{i+1}), \text{ missä } C \in R \parallel G \parallel B)}{\min((C_i - C_{i+1}) / C_{i+1}), \text{ missä } C \in R \parallel G \parallel B)} < t_3$$

Taulukossa 9 on esitetty sarakkeissa 3 ja 4 esimerkinomainen
 30 listaus kynnyksarvoista t_1 , t_2 , jotka on kokeellisesti todettu hyviksi. Kynnyksarvo t_1 voidaan asettaa siten, että se on esimerkiksi välillä 1,04 - 1,125, jossa sitä kasvatetaan sopivin kokeellisesti hyviksi todetuin välein lähtien liikkeelle alkuarvosta 1,04, vastaten indeksin arvoa 1.

Kynnysarvo t_2 voidaan asettaa siten, että se on esimerkiksi välillä 3,07 - 3,24, jossa sitä kasvatetaan sopivin kokeellisesti hyväksi todetuin välein lähtien arvosta 3,07, vastaten indeksin arvoa 1. Kynnysarvo t_3 voidaan asettaa
 5 olemaan esimerkiksi suunnilleen noin 4.

Ennalta asetettuja prosenttiosuusarvoja vastaavaa indeksiä i voidaan kasvattaa esimerkiksi 31 kertaa sopivin kokeellisesti hyväksi todetuin prosenttiosuusvälein. Taulukossa 9 voidaan
 10 kumulatiivisissa histogrammeissa kiinnitetyksi järjestetty prosenttiosuusarvojoukko h_i asettaa sarakkeen 2 mukaiseksi. Indexi $i = 1$ vastaa suurinta histogrammiin laitettua intensiteetti-arvoa (100%) kyseiseltä värikomponentilta, jossa saturoituneet pikselit $G_{(s)}$ ja saturoituneen pikselin $G_{(s)}$
 15 kanssa saman kuvakohdan 15.1 muodostavat pikselit R, G, B on suodatettu pois histogrammeja kerättäessä. Intensiteetti-arvot pienenevät taulukoitujen prosenttiosuuksien mukaisesti eli esimerkiksi kohdassa h_{10} on 99,6% histogrammiin laitetuista intensiteetti-arvoista pienempiä tai yhtä suuria kuin kyseistä
 20 intensiteetti-arvoa vastaava kohta. Kun 31 askelta on edetty kuvatuunlaisella prosenttiosuusaskeljaolla, on viimeistään silloin hyvin oletettavaa, että on löydetty kaikki alikriteerit täyttävä värikolmikko (R_{i11} , G_{i11} , B_{i11}) valaistuksen värille. Tällaisen värikolmikon löytymistä edes
 25 auttaa esitetynlaisella prosenttiosuusjaolla nimenomaan saturoituneiden pikselien $G_{(s)}$ ja sellaisten käsittävien kuvakohtien 15.1 pois suodattaminen histogrammien kokoamisvaiheessa.

30 Jos tilanne on jostain syystä sellainen, että alikriteerejä täyttävää indeksikohtaa i ei jostain syystä löydykään, niin silloin tämä kyseinen indeksiarvo $i = 32$ valitaan ilman vertailuja referenssikohdaksi eli kirkkaimmaksi tasaiseksi alueeksi ja kyseistä kohtaa h_{32} vastaavat kunkin

värikomponentin R, G, B intensiteetti-arvot vastaavaksi valaistuksen väriksi.

5 Taulukon 9 lopussa olevia indeksiarvoja $i = 32 - 34$ voidaan käyttää esimerkiksi gamma-arvon valinnassa ja värien oikeellisuuden tarkistuksessa.

10 Kynnysarvojen t_1 , t_2 , t_3 arvojoukot perustuvat hakijan kokemukseräisesti tekemiin havaintoihin hyvästä arviointitavasta valaistuksen värille eikä niille ole olemassa näin ollen mitään kovinkaan loogista selitystä.

15 Vielä hyvin periaatteellisella tasolla esimerkinomaisesti viitataan erityisesti kuvien 4a - 4c insetteihin, joissa inseteissä kuvataan suurennoksena tasaista aluetta, jolta histogrammien R, G, B yhteinen prosenttiosuuspiste h_1 etsitään. On ymmärrettävä, että inseteissä histogrammien nousu on esitetty erittäin liioiteltuna ja muutoinkin kuvaajat saattavat olla varsin epätodellisia, johtuen niiden 20 samanmuotoisuudesta, mutta niiden tarkoituksena onkin tässä tapauksessa vain ilmentää keksinnön mukaisen menetelmän peruseriaatetta.

25 R ja G histogrammeista havaitaan, että niillä histogrammin äärimmäiseen oikeaan päähän asti ulottuva tasainen alue alkaa ainakin histogrammiin B verrattuna jo varsin aikaisessa vaiheessa. Tällöin periaatteessa värikyvät R ja G toteuttaisivat keksinnön menetelmän mukaiset alikriteerit jo niiden oikeanpuolimaisessa ääripäässä tai ainakin lähempänä 30 ääripäätä kuin värikyvän B tapauksessa.

Sen sijaan histogrammista B on havaittavissa tällaisen tasaisen alueen oikeanpuolimaisessa ääripäässä vielä tasaiseen alueeseen verrattuna oleellisesti jyrkempi prosenttiosuusväli 35 $h_1 - h_4$, jolla välillä värin B intensiteetti muuttuu melko

5 jyrkästi ainakin värikomponentteihin R ja G verrattuna. Tämä nousu kumulatiivisessa histogrammissa B voi aiheutua esimerkiksi kuvaustilanteessa vallitsevista valaistusolosuhteista, jonka takia otoksen väritasapainoa on juuri korjattava valaistuksen värin vaikutuksen eliminoimiseksi.

Keksinnön mukaista menetelmää käytettäessä, kuvien 4a - 4c insetteihin viitaten, ensimmäinen kullekin värikomponentille yhteinen ja asetetut kriteeriedot täyttävä prosentti-
 10 osuuskohta h_1 löydetään nyt kohdasta h_3 , jossa myös värikomponentin B histogrammista löytyy keksinnön menetelmän mukaiset alikriteerit täyttävä tasainen alue. Vastaava valaistuksen väri R_{111} , G_{111} , B_{111} saadaan nyt kohtaa h_3 vastaavasta intensiteetti-arvosta R_3 , G_3 , B_3 , joka yleensä on
 15 joka värikomponentille R, G, B erilainen.

Edellä määritellyjä alikriteerejä käyttäen saadaan aikaan yllättävän robusti arvio valaistuksen värille (R_{111} , G_{111} , B_{111}). Arvion luotettavuutta voidaan lisäksi testata sopivilla
 20 algoritmeilla ja päätellä niistä saaduista tuloksista tarpeellista korjausmäärää ja sille mahdollisesti suoritettavaa uudelleen säätöä.

Korjausmäärää eli toisin sanoen vahvistuskerrointa G_R , G_G , G_B
 25 käytetään väritasapainon säätämiseen. Korjausmäärä liittyy suoraan asetettuun tavoitetasoon R_{tgt} , G_{tgt} , B_{tgt} , johon jokainen arvioitu valaistuksen väri muunnetaan. Väritasapainoa säätävä vahvistuskerroin kullekin värille R, G, B saadaan tavoiteväriä R_{tgt} , G_{tgt} , B_{tgt} ja kutakin värikomponenttia R, G, B vastaavaa
 30 edellä esitetyllä tavalla määritettyä valaistuksen väriä R_{111} , G_{111} , B_{111} käyttäen, jossa

$$G_R = R_{tgt} / R_{111},$$

$$G_G = G_{tgt} / G_{111} \text{ ja}$$

$$G_B = B_{tgt} / B_{111}.$$

Täyden tason korjauksessa valaistus pyritään tekemään valkoiseksi (tgt = white; arvo tällöin vastaavalla skaalauksella 1000). Tällöin värikomponenttisiaaleita vahvistetaan vahvistuskertoimella siten, että valaistuksen väri muuntuu valkoiseksi. Tavoitetasoa voidaan pienentää saturoituneiden pikselien lukumäärän kasvaessa tai alkuperäisen kuvan kirkkauden pienentyessä. Tämä siksi, että vahvistusta ei haluta asettaa kuvan kirkkauden pienentyessä liian suureksi, vaan pimeässä otetun kuvan tulee olla hieman tummempi kuin valoisassa otettu kuva.

Väritasapainotuksen säädön robustisuutta voidaan lisätä edelleen sopivalla tavalla muokaten määritettyjä vahvistuskertoimia G_R , G_G , G_B . Vahvistuskertoimia G_R , G_G , G_B voidaan esimerkiksi verrata toisiinsa ja niille voidaan vaatia, että jokaiselle mahdolliselle kombinaatiolle on voimassa esimerkiksi seuraavat ehdot:

$$k_{\min} G_{C_{ref}} G_C \leq C_{1,ref} G_{C1} \leq k_{\max} G_{C_{ref}} G_C,$$

missä $C = (R \| G \| B)$ ja $C1 = (R \| G \| B, C1 \notin C)$

$$k_{\min} < 1, \quad k_{\max} > 1$$

Tällöin esimerkiksi punaisen värin $C1 = R$ korjauskertoimen G_R tulee olla tietyllä välillä vihreän värin R korjauskertoimeen verrattuna G_G . Sama koskee kaikkia värejä R , G , B suhteessa muihin väreihin R , G , B . Näissä ehdoissa voidaan erään sovellusmuodon mukaan asettaa esimerkiksi $k_{\min} = 0,66$ ja $k_{\max} = 4/3$. Arvolla $G_{C_{ref}}$ kuvataan värikomponenttien keskinäistä suhdetta standardivalaistuksessa, jonka suhteen määrittelyntarve syntyy sensorien väriherkkyys ominaisuudesta. Sensorit ovat nimittäin tyypillisesti herkempiä vihreälle värikomponentille G kuin punaiselle R ja siniselle B . Automaattisen korjauksen tekeminen riippuu esimerkiksi sensorivalmistajasta. Jos automaattinen korjaus on tehty, niin

silloin referenssi arvo on tyypillisesti 1 kaikille värikomponenteille. Jos korjausta ei ole tehty, niin silloin esimerkiksi vihreälle G voidaan asettaa $G_{Gref} = 1$, jolloin vastaavasti voidaan asettaa punaiselle $G_{Rref} = 1,6$ ja siniselle

5 $G_{Bref} = 2,1$.

On ymmärrettävää, että nämä numeeriset arvot voivat jossain määrin vaihdella eikä niitä siten ole mitenkään sidottu tässä esitettyihin. Myös nämä arvot perustuvat kokemusperäisiin

10 tuloksiin, jotka algoritmia kehitettäessä on sen pilot-vaiheissa ilmennyt. Vahvistuksia G_R , G_G , G_B muutetaan, kunnes yllä mainittu ehto täytetään.

Käyttämällä näitä modifioituja vahvistuskertoimia G_R , G_G , G_B

15 voidaan jokaiselle värikomponentille R, G, B laskea myös mediaaniarvo. Jos havaitaan, että valitun referenssi-värikomponentin mediaaniarvon ja toisen värikomponentin mediaaniarvon välillä oleva ero on suuri, niin vahvistuksia säädetään siten, että niiden välinen ero pienenee. Esimerkiksi

20 vihreätä värikomponenttia G voidaan käyttää referenssi-värikomponenttina.

Vielä eräänä viimeisenä rajoituksena vahvistuskertoimille G_R , G_G , G_B voidaan määritellä sellainen ehto, että jokaisen niistä

25 on oltava välillä:

$$G_{\min} \leq G_C \leq G_{\max},$$

missä $C = (R, G, B)$

Tässä arvo G_{\min} eli absoluuttiarvo voidaan asettaa olemaan

30 esimerkiksi 1 ja G_{\max} -arvo olemaan esimerkiksi 16, erään suoritusmuodon mukaisesti esimerkiksi 10.

Jos edellä mainittua rajoitusta ei jokin edellä määritetyistä vahvistuskertoimista G_R , G_G , G_B täytä, kyseistä tai kyseisiä

vahvistuskertoimia modifioidaan ja muita kertoimia uudelleen säädetään vastaavasti samassa suhteessa.

Kun vahvistuskertoimet G_R , G_G , G_B on saatu lopulliseen muotoonsa, niin seuraavaksi voidaan niitä käyttäen muodostaa kullekin värikomponentille R, G, B väritasapainoa säätävä komponenttikohtainen funktiokuvaus (componentwise mappings). Näissä funktiokuvauksissa alaindeksillä In tarkoitetaan kamerasensorilla detektoitua väriä ja alaindeksillä Out vahvistuskertoimella (G_R , G_G , G_B) korjattua väriä eli

$$\begin{aligned} R_{out} &= G_R * R_{in}, \\ G_{out} &= G_G * G_{in} \text{ ja} \\ B_{out} &= G_B * B_{in}. \end{aligned}$$

Kuvassa 7 on ylemmässä kuvaajassa esitetty komponenttikohtaiset alkuperäiset histogrammit ja keskimmaisessa kuvaajassa niistä keksinnön menetelmän mukaisesti määritettyjä vahvistuskertoimia käyttäen niistä muodostetut komponenttikohtaiset funktiokuvaukset, joissa valaistuksen väri on siis keksinnön menetelmän mukaisesti huomioitu. Alin histogrammi kuvaa menetelmän mukaisesti muokattuja komponenttikohtaisia histogrammeja, joissa on huomioitu myös niin sanotun offsetin vähentäminen, jolla tumman pään kontrastia saadaan lisättyä.

Keksinnön mukaisessa menetelmässä voidaan itse kameralaitteistoon tai vaihtoehtoisesti myös oheislaitteeseen järjestettävään kuvankäsittelyketjujärjestelmään 10 sovittaa myös muita toimenpiteitä edellä kuvatun väritasapainon automaattisen säätämisen CBA, CBC lisäksi.

Kuvassa 5 esitetään erästä ensimmäistä esimerkkiä näistä toimenpiteistä, joka tunnetaan niin sanottuna pedestal elimination:na PE eli raakamatriisille suoritettavana

pikseliarvojen offsetkorjauksena. Kuten kuvankäsittelyketjua 10 havainnollistavasta kuvasta 1 on todettavissa, tämä korjaus voidaan suorittaa ketjussa 10 välittömästi sensorilta saatavalle raakakuvalle.

5

Offset on sellainen värisignaalista määritetty minimiarvo, joka saadaan, kun siepataan esimerkiksi täysin tumma otos. Digitaalisten kameralaitteiden sensoreilla voi olla erilaiset offsetit joka värikanavalle. Robustin väritasapainon 10 säätötoiminnan kannalta olisi kuitenkin tärkeää, että offset saataisiin poistettua mahdollisimman moitteettomasti ja näin ollen sensori linearisoitua. Poisto voidaan järjestää joko kiinnitetyksi ja sensorispesifiseksi, jos samat offsetit lisääntyvät värikomponenttisygnaleihin systemaattisesti. Myös 15 adaptiivisia tapoja voidaan käyttää.

Toteutustavoista riippumatta, tunnetussa tekniikassa pikseliarvojen offsetkorjauksessa periaatteessa pikseliarvoja vähennetään offsetarvoilla. Tällaisella toimenpiteellä on 20 kuitenkin Pilot-vaiheiden testeissä todettu olevan supistava vaikutus signaalin dynaamiseen alueeseen, koska silloin myös kirkkaimmat arvot pienenevät.

Keksinnön mukaisessa menetelmässä pikseliarvojen offsetkorjaus 25 tehdään ainakin osittain lineaarisesti. Tämä voidaan erään sovellusmuodon mukaan suorittaa esimerkiksi siten, että pedestaaali p poistetaan suoralla vähennyslaskulla, kun pikselien signaalitaso on sille asetetun raja-arvon t alapuolella. Kun pikselien signaalitaso ylittää asetetun raja- 30 arvon t , pedestaaali p vähennetään, mutta signaalia myös samalla vahvistetaan siten, että maksimisignaalisuus ei oleellisesti tipu.

Tällainen pedestaaalin eliminointivaiheella PE on erityisen 35 edullinen esimerkiksi keksinnön mukaisen menetelmän

tapauksessa, kun valaistuksen väriä arvioidaan ja satureoituneiden pikseliarvojen vaikutusta pyritään oleellisesti eliminoimaan. Edellä kuvatulla tavalla eli osittain lineaarisesti suoritettuna satureoitunut pikseli
 5 säilyy pedestaalieliminoinnissa PE edelleen satureoituneena.

Keksinnön mukaisesti suoritettavan pedestali-eliminoinnin PE periaatteellista suoritustapaa voidaan kuvata seuraavilla yhtälöillä kuvaan 5 viitaten

10

$$y = 0, \text{ kun } x < p$$

$$y = x - p, \text{ kun } p \leq x < t$$

$$y = x - p + \frac{x - t}{x_{\max} - t} p, \text{ kun } x \geq t$$

missä p = pedestali ja t = kynnysarvo

Koordinaatistoakselianalogioita sovellettaessa on selvästikin siten, että y = Out ja x = In. Näissä yhtälöissä voi
 15 esimerkiksi olla siten, että $x_{\max} = 1023$, $p = 64$ ja $t = x_{\max} - (p/2) \Rightarrow 1023 - (64/2) = 991$.

Vielä erään sovellusmuodon mukaan keksinnön mukaiseen kuvankäsittelyketjuun 10 voidaan ottaa mukaan myös niin
 20 sanottu reunakorjaus, joka tunnetaan alan ammattimiehen terminologiassa myös ilmauksella "vignetting elimination" VE. Reunakorjaus VE voidaan järjestää kuvankäsittelyketjuun 10 esimerkiksi pedestaalikorjauksen PE jälkeen. Reunakorjauksella VE saavutetaan eräänä etuna kuvien nurkkatummmien
 25 vähentäminen. Yleensä kuvan nurkkien tummuminen aiheutuu optiikasta ja sensorin fysikaalisista ominaisuuksista. Vignetting-ilmiölle on ominaista kuvan luminanssiarvon pieneneminen lähtien kuvan keskeltä ja edeten radiaalisesti kohti kuvan nurkkia.

30

Keksinnön mukaisella reunakorjausalgoritmillä VE voidaan kompensoida tätä epäkohtaa siten, että siinä käytetään kuvan avaruudellisesti vaihtelevaa offsetia ja vignetting-ilmion korjauskerrointa v_f , joka voi riippua muun muassa pikselin sijainnista. Korjaustekijän v_f arvo kasvaa, kun etäisyys r vignetting-ilmion keskikohdasta kasvaa.

Vignetting-korjauksen keskikohta ($r = 0$) voidaan asettaa olemaan esimerkiksi kuvan keskellä. Korjauskerroin v_f voidaan kehittää sensorispesifisistä parametreista ja etäisyydestä riippuvaksi funktioksi. Parametrit voidaan määrittää esimerkiksi kalibraatiokuvauksella, jossa sensorilla kuvataan valkoista vakiovalaistua pintaa ja josta sitten sopivalla parametrien alkuarvauksella saadaan määritettyä sellaiset parametrit, että vignetting-ilmio niillä eliminoiduu. Etäisyys r voidaan määrittää sinänsä tunnetulla tavalla (esimerkiksi pythagoraan lause), jossa kuitenkin lisäkertoimena on huomioitava niin sanottu sivusuhte (aspect ratio). Vignetting-korjaus saadaan suoraan, kun kukin pikseliarvo kerrotaan sitä vastaavaa etäisyyttä r vastaavalla kertoimella v_f . Huomattavaa lisäksi on, että korjaustekijä voidaan kehittää erikseen myös jokaiselle värikomponentille R_{vf} , G_{vf} , B_{vf} , johtuen niiden erilaisista vaimentumistavoista. Jos värikomponentit vaimenevat erilaisesti, niin tästä aiheutuva virhe olisi hyvä korjata, jottei siitä aiheudu virhettä itse väritasapainon säätöön.

Reunakorjausalgoritmin VE järjestäminen siten, että se on kuvankäsittelyketjussa 10 esimerkiksi pedestaalikorjauksen PE jälkeen ja ennen väritasapainon arviointivaihetta CBA on edullista, koska tällöin ei kuvan nurkissa mahdolliset ilmenevät tummumat aiheita vääristymää varsinaiseen väritasapainon säätöön CBC.

Kuvassa 6 esitetään esimerkki vielä eräästä keksinnön mukaiseen menetelmään mahdollisesti liitettävästä osavaiheesta. Viimeisenä osavaiheena keksinnön mukaisessa kuvankäsittelyketjussa voi erään sovellusmuodon mukaan olla
 5 lisäksi tumman värin korjaus. Siinä kumulatiivisista histogrammeista etsitään sellaiset arvot, jotka täyttävät niille asetetun tietyn erityisen kynnsarvon. Tumman värin korjauksessa kynnsarvon perusteella määritettyä tummintä värikomponenttia venytetään kohti mustaa asetetun suuruisesti
 10 ja myös muita komponentteja prosessoidaan samassa suhteessa. Venytys tehdään lisäämällä asetetun suuruinen siirtymä (offset) värimuunnosfunktioihin, kuten kuvassa 6.

Tumman pään kynnsarvo voidaan erään sovellusmuodon mukaan
 15 määrittää esimerkiksi siten, että kunkin värikomponentin R, G, B histogrammeista etsitään esimerkiksi 1%:n pikselimäärää vastaava intensiteettikohta. Tämän jälkeen nämä kunkin värikomponentin 1%:in kohtaa vastaavat intensiteetti-arvot kerrotaan sen hetkisillä kutakin värikomponenttia vastaavilla
 20 korjauskertoimilla ja näin saaduista modifioiduista intensiteetti-arvoista valitaan pienin, joka modifioitu intensiteetti-arvo edelleen kerrotaan 0,7:llä ja joka sitten valitaan korjauksen suuruudeksi.

Edellä määritetty ja valittu korjauksen suuruus jaetaan seuraavaksi sen hetkisillä korjauskertoimilla G_R , G_G , G_B , jonka jakolaskun seurauksena saadaan kullekin värikomponentille offset-arvot OffsetR, OffsetG, OffsetB. On huomattava, että offset-arvot eivät vaikuta väriin vaan niillä on ainoastaan
 30 kuvaa tummemmaksi vetävä vaikutus. Jotta väritasapainon säädön tavoitetaso saataisiin edelleen pysymään samana kuin se oli alun perin tarkoitettu, niin vielä on määritettävä uudelleen säädetyt korjauskertoimet G_R' , G_G' ja G_B' . Jos kuvassa ei ole tummia kohtia voidaan lisätä (vähän) kontrastia.

Kuvassa 7 esitetään alimmassa histogrammissa esimerkki, jossa kuvataan tummien pikselien värin korjauksella saatavaa histogrammia, jossa siis tummien pikselien värin korjauksessa muunnosfunktioihin lisätään edellä kuvatulla tavalla
 5 määritetty offset ja sen seurauksena suoritetaan uudelleensäätö muunnosfunktioiden vahvistuksille. Tumman pään korjauksen seurauksena muunnosfunktiot saavat seuraavan muodon

$$\begin{aligned} R_{\text{Out}} &= G_R' * (R_{\text{In}} - \text{OffsetR}), \\ 10 \quad G_{\text{Out}} &= G_G' * (G_{\text{In}} - \text{OffsetG}) \text{ ja} \\ B_{\text{Out}} &= G_B' * (B_{\text{In}} - \text{OffsetB}). \end{aligned}$$

Tällainen prosessointi vaikuttaa siten, että määrittely-
 pistettä kirkkaammat pisteet muuntuvat kirkkaammiksi ja tätä
 15 tummemmat pisteet tummemmiksi. Muutoksella saavutettavaa vaikutusta histogrammeihin havainnollistetaan kuvan 7 alimmassa kuvaajassa, joka samalla esittää myös lopullista keksinnön mukaisen kuvankäsittelyketjun 10 seurauksena saatavia komponenttikohtaisia histogrammeja. Keskimmaisessä
 20 In/Out -kuvaajassa on värikomponenteista muodostetut funktiokuvaukset (mapping functions).

Keksinnön mukaisessa menetelmässä voidaan käyttää lineaarisia muunnosfunktioita. Myös epälineaarisuuksia voidaan lisätä ja
 25 tyyppillisesti lisätäänkin, jos käytetty algoritmi yhdistetään vielä eräänä lisäsovellusmuotona mahdolliseen gammakorjaukseen.

Gammakorjaus GC voidaan erään sovellusmuodon mukaan toteuttaa
 30 siten, että ensin määritetään kuvan tyyppi. Tämä voidaan erään esimerkillisen sovellusmuodon mukaan tehdä siten, että kumulatiivisista histogrammeista etsitään X-akselilta esimerkiksi 25%, 50% ja 80%:n kohdat, joissa siis esimerkiksi 25%:n kohdassa on 25% kuvan muodostavista pikseleistä
 35 intensiteetti-arvoltaan tätä kohtaa tummempia tai yhtäsuuria.

Prosenttiosuuksia 25, 50 ja 80 on vastaamaan asetettu kriteerit intensiteetti-arvoille, joiden perusteella voidaan päättää, onko kulloinkin käsittelyssä oleva otos normaali, backlight vai low contrast. Määrityksen jälkeen valitaan sitä
 5 pienempi gamma-arvo, mitä enemmän kuvaa tulisi kirkastaa. CEI/IEC-organisaatiossa (Commission Internationale de l'Eclairage (Vienna) / International Electrotechnical Commission (Geneve)) on gamman tasoksi SRGB (standard RGB) kuville valittu $0,45 = 1/2,2$ kuvassa 8. Keksinnön mukaisessa
 10 menetelmässä gamma-arvot voivat vaihdella esimerkiksi välillä 0,20 - 0,60. Yleisellä hyvin karkeahkolla tasolla voidaan todeta, että gammakorjauksessa väritasapainoa korjataan säätöketjun 10 loppuvaiheessa tehtävällä potenssiin-
 korotuksella, jossa intensiteetti-arvot korotetaan määritettyä
 15 gamma-arvoa vastaavaan potenssiin sopivilla intensiteettialueilla. Käyrän alkualueilla suoraa potenssiinkorotusta ei suoriteta, jotta tummalla alueella muutos ei olisi liian nopea (jyrkkä).

20 Keksinnön mukaisen väritasapainon säätömenetelmän osavaiheet voidaan erään sovellusmuodon mukaan tiivistää seuraavasti.

1. Eliminoidaan pedestaaali PE,
2. Vignetoinnin eliminointi VE
- 25 3. Kerätään histogrammi suodattamalla pois saturoituneet pikseliarvot $G_{(s)}$ ja myös niitä vastaavat kuvakohdat 15.1,
4. Määritetään kumulatiivisista histogrammeista arvio valaistuksen väreille R_{111} , G_{111} , B_{111} keksinnön menetelmän mukaisia reunaehtoja t_1 , t_2 , t_3 käyttäen,
- 30 5. Määritetään valaistuksen värin arviota käyttäen tarvittavat värimuunnosfunktio-kertoimet ja säädetään niitä käyttäen kehitettyjä reunaehtoja ja rajoituksia,
6. Säädetään värikomponenttien R, G, B tummintaa arvoa,
7. Käytetään lisäystä ja histogrammitietoa päätellessä
 35 visuaalinen optimiarvo gammakorjaukselle.

Vaiheet 3, 4, 5 ja 6 ovat keksinnön mukaisessa menetelmässä ydinosia. On huomattava, että toteutuksista riippuen näitä vaihteita voidaan järjestää uudelleen tai yhdistellä useinkin eri tavoin.

On ymmärrettävä, että edellä oleva selitys ja siihen liittyvät kuvat on tarkoitettu ainoastaan havainnollistamaan esillä olevaa keksintöä. Keksintöä ei siten ole rajattu pelkästään edellä esitettyihin tai patenttivaatimuksissa määriteltyihin sovellusmuotoihin, vaan alan ammattimiehelle tulevat olemaan ilmeisiä monet erilaiset keksinnön variaatiota ja muunnokset, jotka ovat mahdollisia oheisten patenttivaatimusten määrittelemän keksinnöllisen ajatuksen puitteissa.

PATENTTIVAATIMUKSET

1. Menetelmä väritasapainon automaattiseksi säätämiseksi digitaalisessa kuvankäsittelyketjussa (10), jossa menetelmässä

- 5 - kohde kuvataan pikseleittäin värikomponenttien (R, G, B) arvojoukoiksi,
- värikomponenttien (R, G, B) arvojoukoista muodostetaan komponenttikohtaisia histogrammeja,
- komponenttikohtaisista histogrammeista muodostetaan
- 10 kumulatiivisia histogrammeja,
- kumulatiivisista histogrammeista määritetään ainakin yhdelle värikomponentille sitä vastaava valaistuksen väri (R_{i11} , G_{i11} , B_{i11}),
- ainakin kahdelle värikomponentille (R, G, B)
- 15 määritetään tavoiteväriä (R_{tgt} , G_{tgt} , B_{tgt}) ja määritettyä valaistuksen väriä (R_{i11} , G_{i11} , B_{i11}) käyttäen väritasapainoa säätävä vahvistuskerroin (G_R , G_G , G_B),

tunnettu siitä, että menetelmässä

- 20 - määritetään kumulatiivisten histogrammien päissä värikäyrän olennaisesti tasaiselta alueelta sellainen piste h_i , jossa peräkkäisiä pisteitä h_i , h_{i+1} vastaavat värikomponenttikohtaiset pikseli-intensiteetti-arvot C_i , C_{i+1} täyttävät ainakin yhden
- 25 värikomponentin (R, G, B) kohdalla niille asetetut kriteeriedot ja
- asetetaan ainakin yhdelle värikomponentille (R, G, B) yhteistä määritettyä pistettä h_i vastaava värikomponenttikohtainen intensiteetti-arvo C_i
- 30 vastaamaan valaistuksen väriä (R_{i11} , G_{i11} , B_{i11}).

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että valaistuksen väri (R_{i11} , G_{i11} , B_{i11}) määritetään kumulatiivisista histogrammeista etsimällä sellainen pienin

- 35 indeksi i , joka täyttää seuraavat alikriteerit:

1) kahden peräkkäisiä ja asetetun välijaon mukaisesti valittuja pisteitä h_i , h_{i+1} vastaavien pikseliarvojen C_i , C_{i+1} suhde r_c on pienempi kuin niille asetettu ensimmäinen kynnyisarvo t_1 kullakin värikomponentilla (R, G, B), eli

$$r_c = \frac{C_i}{C_{i+1}} < t_1, C = (R, G, B) ,$$

2) näin saatujen pikseliarvojen C_i , C_{i+1} suhteiden r_c summa on pienempi kuin niille asetettu toinen kynnyisarvo t_2 ,

$$\frac{R_i}{R_{i+1}} + \frac{G_i}{G_{i+1}} + \frac{B_i}{B_{i+1}} < t_2$$

ja

3) pikseliarvojen C_i , C_{i+1} muutoksien suhteellisten nopeuksien suhde maksimipikseliarvomuutoksen ja minimipikseliarvomuutoksen välillä on pienempi kuin sille asetettu kolmas kynnyisarvo t_3 ,

$$\frac{\max((C_i - C_{i+1}) / C_{i+1}), \text{ missä } C \in R \parallel G \parallel B}{\min((C_i - C_{i+1}) / (C_{i+1}), \text{ missä } C \in R \parallel G \parallel B)} < t_3 \text{ ja}$$

jossa ehdot 1 - 3 täyttävää pistettä h_i vastaavat kunkin värikomponentin intensiteettiä C_i asetetaan vastaamaan valaistuksen väriä (R_{i11} , G_{i11} , B_{i11}).

3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että ensimmäinen kynnyisarvo t_1 vaihtelee välillä 1,0 - 1,5, edullisesti välillä 1,01 - 1,2.

4. Patenttivaatimuksen 2 tai 3 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että toinen kynnyisarvo t_2 vaihtelee välillä 3,0 - 4,0, edullisesti välillä 3,0 - 3,5.

5. Patenttivaatimuksen 2 - 4 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että kolmas kynnysarvo t_3 vaihtelee välillä 3,0 - 5,0, olleen edullisesti noin 4,0.
- 5 6. Patenttivaatimuksen 1 - 5 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että menetelmässä suoritetaan ennen väritasapainon säätöä (CBC) raakamatriisin pikseliarvoille lisäksi pedestaalin eliminointi (PE).
- 10 7. Patenttivaatimuksen 6 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että pedestaalin eliminointi (PE) suoritetaan ainakin osittain lineaarisesti esimerkiksi siten, että
- värikomponentin (R, G, B) pikseliarvotason ollessa sille asetetun raja-arvon (t) alapuolella,
 - 15 vähennetään offset (p) suoralla vähennyslaskulla, ja asetetun raja-arvon (t) jälkeen
 - vähennetään offset (p) vahvistaen pikseliarvoja samalla kuitenkin siten, että maksimipikseliarvotaso ei oleellisesti pienene.
- 20 8. Patenttivaatimuksen 1 - 7 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että menetelmässä suoritetaan lisäksi reunakorjausproseduuri (vignetting elimination) (VE), joka suoritetaan edullisesti pedestaalin eliminoinnin (PE) jälkeen ja ennen
- 25 väritasapainon säätöä (CBC).
9. Patenttivaatimuksen 8 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että reunakorjausproseduurissa (VE) käytetään avaruudellisesti muuttuvaa offsetia ja pikseliarvon vahvistuskerrointa (vf).
- 30 10. Patenttivaatimuksen 9 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että vahvistuskerroin (vf) kehitetään kullekin värikomponentille (R, G, B) erikseen.

11. Patenttivaatimuksen 1 - 10 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että menetelmän yhteydessä suoritetaan lisäksi tumman värin korjausproseduuri, jossa osavaiheina

- 5 - kumulatiivisesta histogrammista etsitään sellaiset pikseliarvot, jotka täyttävät sille asetetun kynnysehdon (dpcc),
- määritettyä tummintaa värikomponenttia venytetään määritetyn suuruisella siirtymällä (offset) kohti histogrammin tummaa päätyä prosessoiden samalla muita
- 10 värikomponentteja samassa suhteessa ja
- muunnosfunktioiden vahvistuksille (G_R , G_G , G_B) suoritetaan uudelleensäätö.

12. Patenttivaatimuksen 1 - 11 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että jokaiselle värikomponentille (R, G, B) määritetään mediaanipikseliarvo ja jos valitun referenssikomponentin mediaanipikseliarvo ja värikomponentin (R, G, B) mediaanipikseliarvo eroavat toisistaan asetetulla tavalla, säädetään vahvistuksia (G_R , G_G , G_B) eron pienenentämiseksi.

20

13. Patenttivaatimuksen 1 - 12 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että menetelmään kuuluu lisäksi gammakorjausosavaihe GC, jossa

- 25 - määritetään kumulatiivisista histogrammeista otostyyppi, joka voi olla esimerkiksi normaali, backlight tai low contrast,
- otostyyppimäärittelyyn perustuen valitaan gammakorjauksessa käytettäväksi sitä pienempi gamma-arvo, mitä enemmän kuvaa tulisi kirkastaa, joka
- 30 gamma-arvo voi vaihdella esimerkiksi välillä 0,10 - 0,80, edullisesti välillä 0,20 - 0,60.

14. Patenttivaatimuksen 1 - 13 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että ennen kumulatiivisten histogrammien muodostamista

35 ainakin yhdestä arvojoukosta suodatetaan pois ainakin

sellaiset pikseliarvot ($G_{(s)}$), jossa saman kuvakohdan (15.1) pikseliarvo yhdessäkin arvojoukossa täyttää valitun kriteerin.

15. Järjestelmä väritasapainon automaattiseksi säätämiseksi
 5 digitaalisessa kuvankäsittelyketjussa (10), jossa järjestelmään kuuluu

- välineet kohteen kuvaamiseksi pikseleittäin värikomponenttien (R, G, B) arvojoukoiksi,
- välineet komponenttikohtaisien histogrammien muodostamiseksi värikomponenttien (R, G, B) arvojoukoista,
- välineet kumulatiivisten histogrammien muodostamiseksi komponenttikohtaisista histogrammeista,
- välineet ainakin yhdelle värikomponentille sitä vastaavan valaistuksen värin ($R_{111}, G_{111}, B_{111}$) määrittämiseksi kumulatiivisten histogrammien värikäyristä valitulla tavalla,
- välineet ainakin kahdelle värikomponentille (R, G, B) väritasapainoa säätävän vahvistuskertoimen (G_R, G_G, G_B) määrittämiseksi asetettua tavoiteväriä ($R_{tgt}, G_{tgt}, B_{tgt}$) ja määritettyä valaistuksen väriä ($R_{111}, G_{111}, B_{111}$) käyttäen,

tunnettu siitä, että järjestelmään kuuluu lisäksi

- välineet kumulatiivisten histogrammien muodostamiseksi kunkin suodatetun arvojoukon $[R], [G], [B]$ arvoista,
- välineet sellaisen kullekin värikomponentille (R, G, B) yhteisen pisteen h_i määrittämiseksi kunkin kumulatiivisen histogrammin päässä värikäyrän tasaiselta alueelta, jossa peräkkäisiä pisteitä h_i, h_{i+1} vastaavien värikomponenttikohtaisien pikseli-intensiteetti-arvot C_i, C_{i+1} on sovitettu täyttämään kunkin värikomponentin (R, G, B) kohdalla niille asetetut kriteeriehtot ja

- välineet löydettyä pistettä h_i vastaavan intensiteettiä C_i asettamiseksi vastaamaan valaistuksen väriä (R_{i11} , G_{i11} , B_{i11}).

- 5 16. Patenttivaatimuksen 15 mukainen järjestelmä, tunnettu siitä, että järjestelmään kuuluu lisäksi ennen väritasapainon säätöä (CBC) sovitettu toiminnallisuus raakamatriisin pikseliarvoille pedestalin eliminoinnin (PE) suorittamiseksi.
- 10 17. Patenttivaatimuksen 15 tai 16 mukainen järjestelmä, tunnettu siitä, että järjestelmään kuuluu lisäksi välineet reunakorjauksen (VE) (vignetting elimination) suorittamiseksi, joka on sovitettu edullisesti pedestalin eliminoinnin (PE) jälkeen ja ennen väritasapainon säätöä (CBC).
- 15 18. Patenttivaatimuksen 15 - 17 mukainen järjestelmä, tunnettu siitä, että järjestelmään kuuluu lisäksi välineet tumman värin korjaamiseksi.
- 20 19. Patenttivaatimuksen 15 - 18 mukainen järjestelmä, tunnettu siitä, että järjestelmään kuuluu lisäksi välineet saturoituneiden pikselien poistamiseksi arvojoukoista.
- 25 20. Laitteisto väritasapainon automaattiseksi säätämiseksi, jossa laitteisto käsittää digitaalisen kuvankäsittelyketjun (10), jossa ketjuun (10) kuuluu
- välineet kohteen kuvaamiseksi pikseleittäin värikomponenttien (R, G, B) arvojoukoiksi [R], [G], [B],
 - 30 - välineet komponenttikohtaisien histogrammien muodostamiseksi värikomponenttien (R, G, B) arvojoukoista,
 - välineet kumulatiivisten histogrammien muodostamiseksi komponenttikohtaisista histogrammeista,

- välineet ainakin kahdelle värikomponentille sitä vastaavan valaistuksen värin (R_{111} , G_{111} , B_{111}) määrittämiseksi kumulatiivisten histogrammien väri-
käyristä valitulla tavalla,
- 5 - välineet ainakin kahdelle värikomponentille (R , G , B) väritasapainoa säättävän vahvistuskertoimen (G_R , G_G , G_B) määrittämiseksi asetettua tavoiteväriä (R_{tgt} , G_{tgt} , B_{tgt}) ja määritettyä valaistuksen väriä (R_{111} , G_{111} , B_{111}) käyttäen valaistuksen värin kompensoi-
miseksi,
- 10 tunnettu siitä, että laitteistoon kuuluu lisäksi
 - välineet sellaisen kullekin värikomponentille (R , G , B) yhteisen pisteen h_i määrittämiseksi kunkin kumulatiivisen histogrammin . päässä värikäyrän
15 tasaiselta alueelta, jossa peräkkäisiä pisteitä h_i , h_{i+1} vastaavien värikomponenttikohtaisien pikseli-
intensiteettiarvot C_i , C_{i+1} on sovitettu täyttämään kunkin värikomponentin (R , G , B) kohdalla sille asetetut kriteeriedot ja
 - 20 - välineet löydettyä pistettä h_i vastaavan intensi-
teettiarvon C_i asettamiseksi vastaamaan valaistuksen väriä (R_{111} , G_{111} , B_{111}).
- 21. Ohjelmalliset välineet patenttivaatimuksen 1 mukaisen
25 menetelmän toteuttamiseksi, jossa välineet käsittävät rajapinnan kuvadatan vastaanottamiseksi
 - ohjelmalliset välineet värikomponenttien (R , G , B) arvojoukoista $[R]$, $[G]$, $[B]$ komponenttikohtaisien histogrammien muodostamiseksi,
 - 30 - ohjelmalliset välineet kumulatiivisten histo-
grammien muodostamiseksi komponenttikohtaisista histogrammeista,
 - ohjelmalliset välineet kullekin värikomponentille sitä vastaavan valaistuksen värin (R_{111} , G_{111} , B_{111})

määrittämiseksi kumulatiivisten histogrammien väri-
käyristä valitulla tavalla,

- ohjelmalliset välineet ainakin kahdelle
värikomponentille (R, G, B) väritasapainoa säättävän
vahvistuskertoimen (G_R , G_G , G_B) määrittämiseksi
asetettua tavoiteväriä (R_{tgt} , G_{tgt} , B_{tgt}) ja määritettyä
valaistuksen väriä (R_{ill} , G_{ill} , B_{ill}) käyttäen
valaistuksen värin kompensoimiseksi,

tunnettu siitä, että ohjelmallisiin välineisiin on sovitettu
lisäksi

- ohjelmalliset välineet sellaisen kullekin
värikomponentille (R, G, B) yhteisen pisteen h_i
määrittämiseksi kunkin kumulatiivisen histogrammin
päässä värikäyrän tasaiselta alueelta, jossa
peräkkäisiä pisteitä h_i , h_{i+1} vastaavien värikompo-
nenttikohtaisien pikseli-intensiteettiä C_i , C_{i+1}
on sovitettu täyttämään kunkin värikomponentin (R, G,
B) kohdalla sille asetetut kriteerierhdot ja
- ohjelmalliset välineet löydettyä pistettä h_i
vastaavan intensiteettiä C_i asettamiseksi
vastaamaan valaistuksen väriä (R_{ill} , G_{ill} , B_{ill}).

(57) TIIVISTELMÄ

Keksintö koskee menetelmää väritasapainon automaattiseksi säätämiseksi digitaalisessa kuvankäsittelyketjussa (10). Menetelmässä kohde kuvataan värikomponentteina (R, G, B), joista muodostetaan kumulatiiviset histogrammit. Näiden värikyristä määritetään valitulla tavalla valaistuksen väri (R_{111} , G_{111} , B_{111}), joka huomioidaan väritasapainoa säätäviä vahvistuskertoimia (G_R , G_G , G_B) määriteltäessä. Menetelmässä ennen valaistuksen värin määrittämistä suodatetaan pois ainakin sellaiset pikseliarvot ($G_{(s)}$), jotka täyttävät valitun kriteerin. Tämän jälkeen muodostetaan kumulatiiviset histogrammit ja määritetään niiden päässä värikyrjän tasaiselta alueelta valitulla kriteerillä sellainen piste h_1 , jota asetetaan värikomponenteille (R, G, H) yhteistä määritettyä pistettä vastaava värikomponenttikohtainen intensiteetti-arvo C_1 vastaamaan valaistuksen väriä (R_{111} , G_{111} , B_{111}).

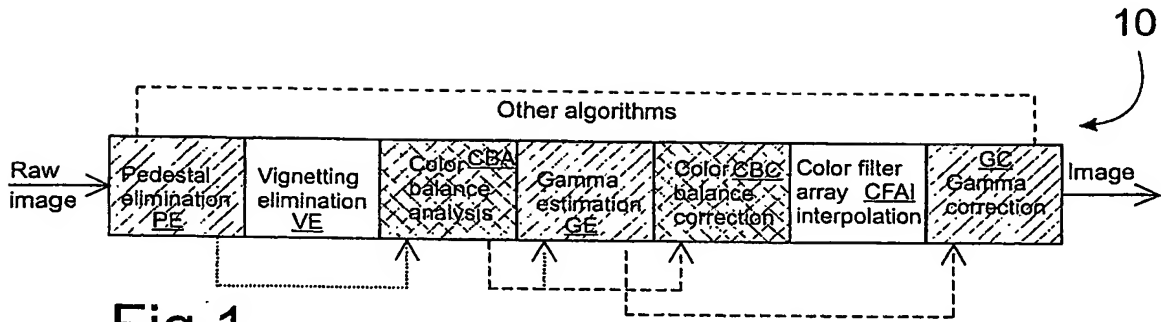


Fig.1

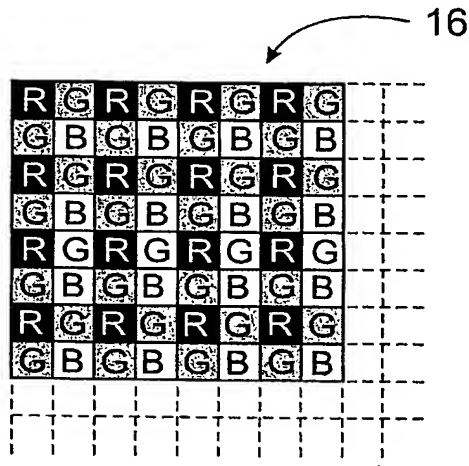


Fig.2

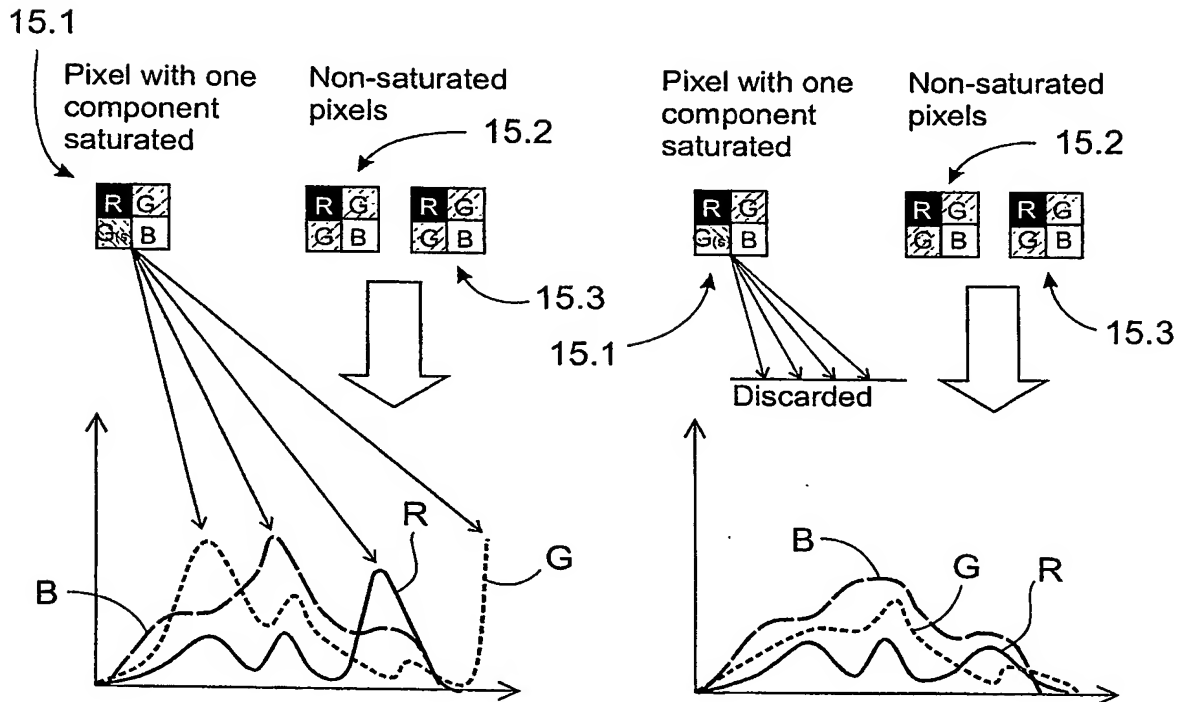


Fig.3a

Fig.3b

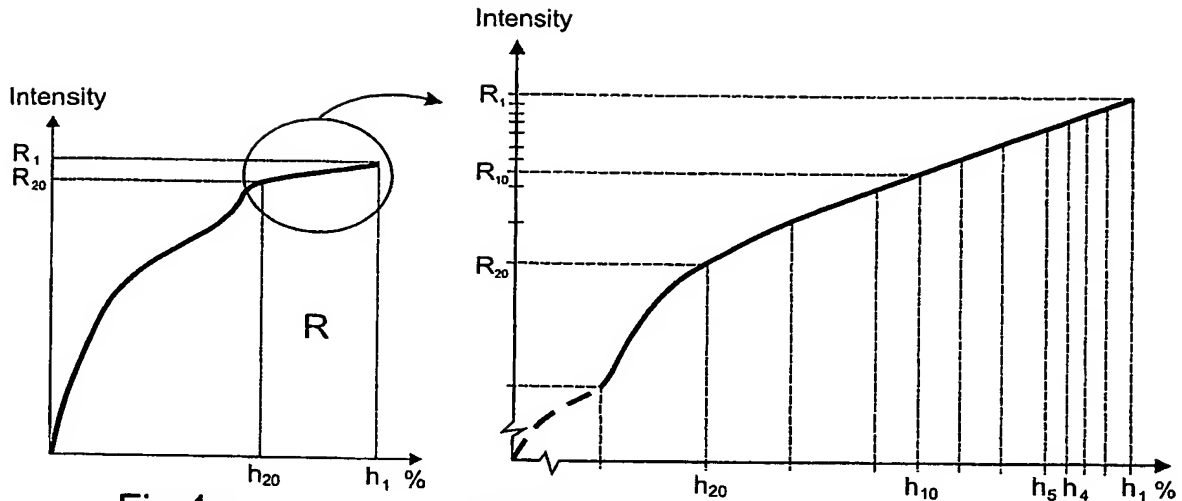


Fig.4a

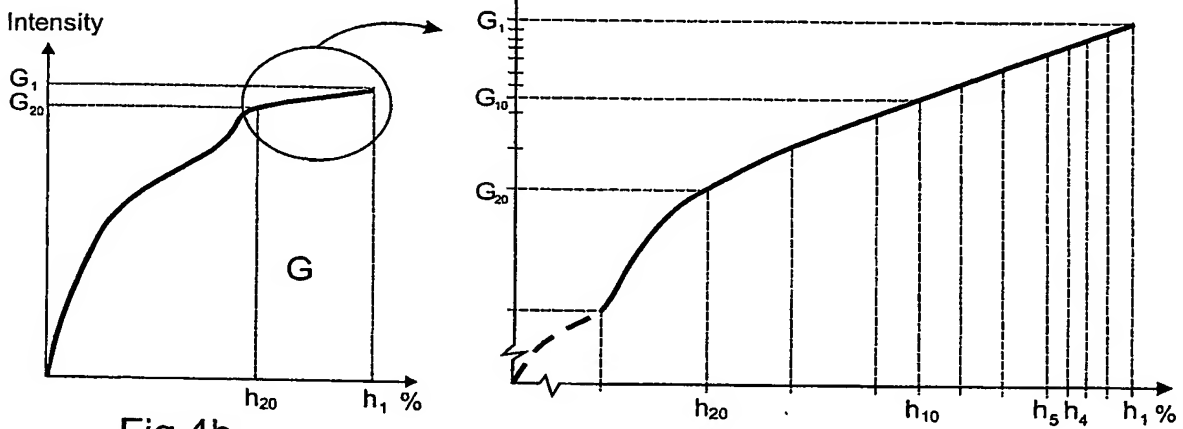


Fig.4b

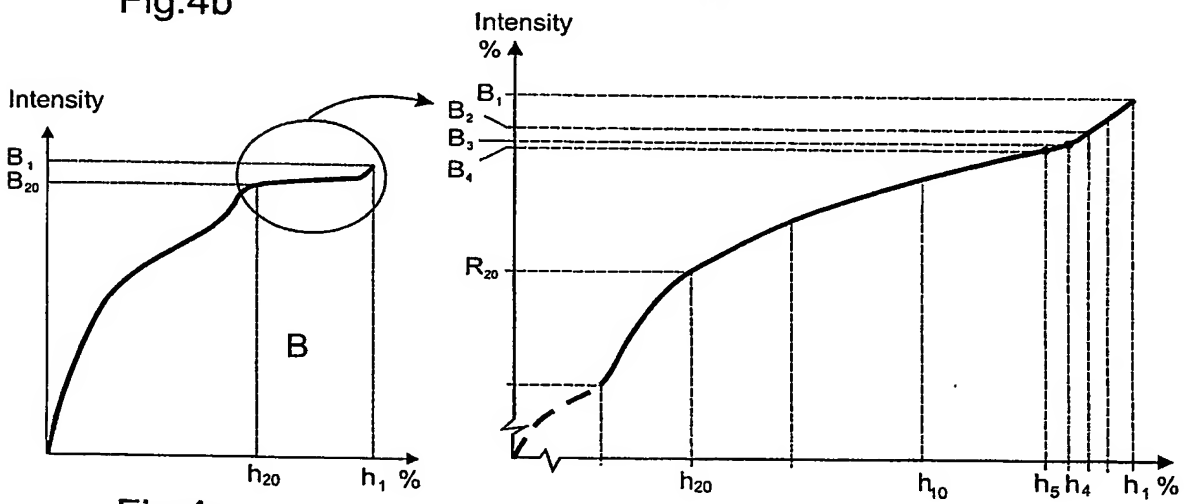


Fig.4c

h_4 = Illumination point

Fig.5

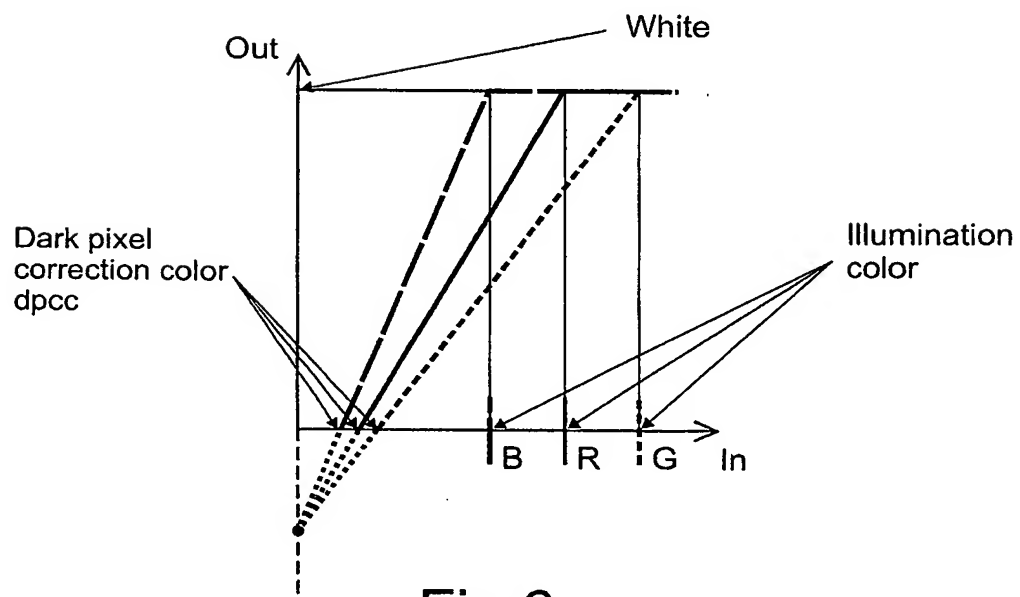
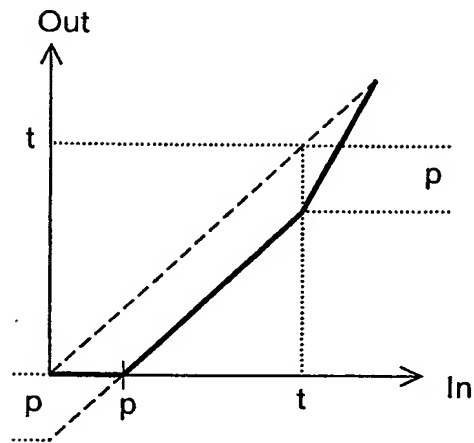


Fig.6

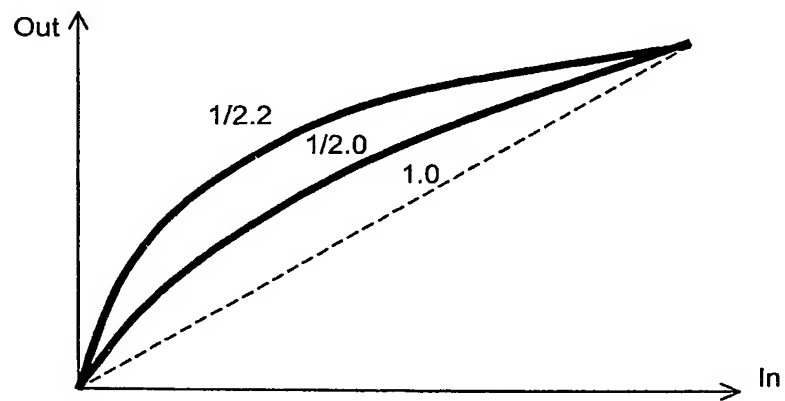
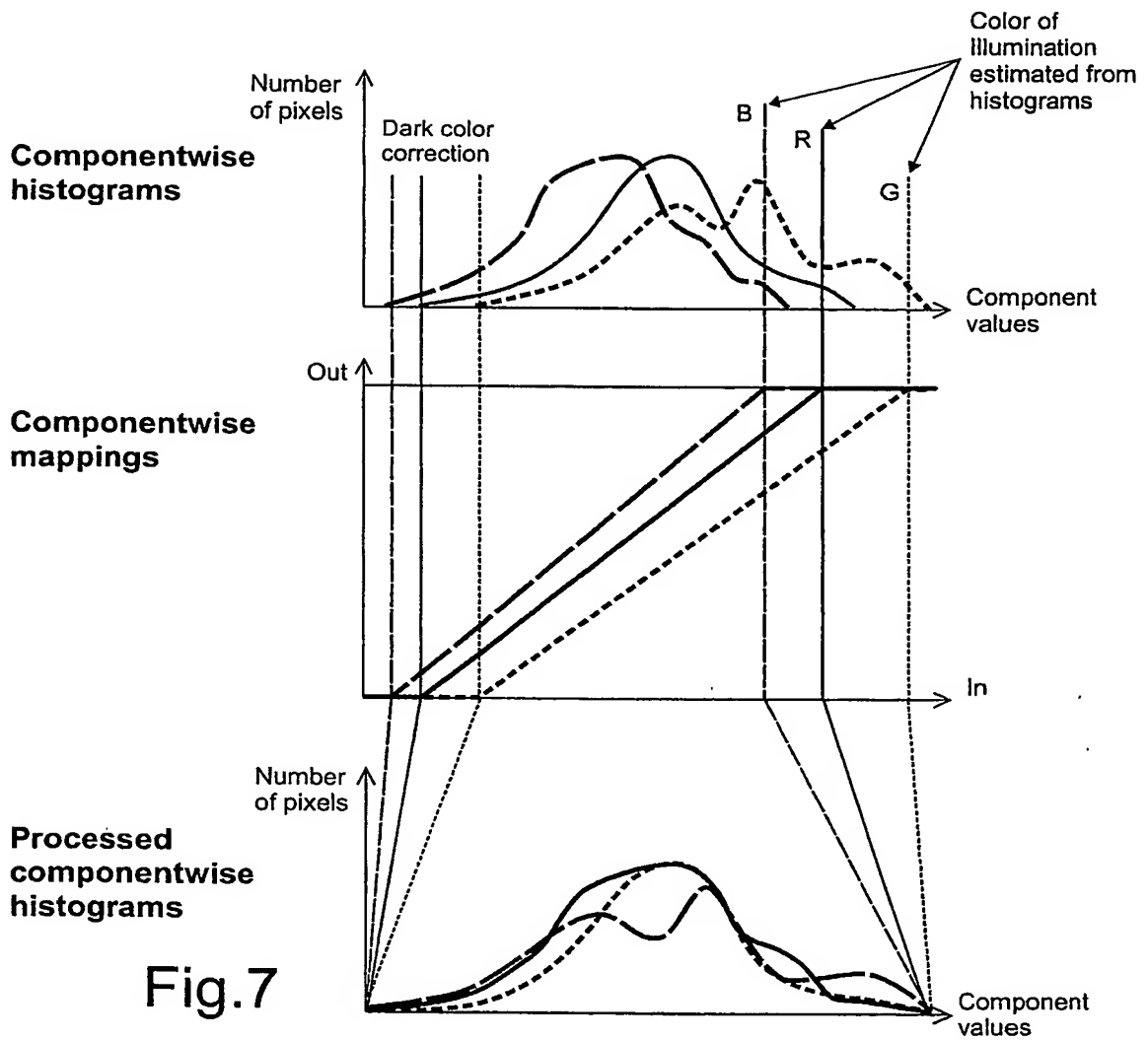


Fig.8

i	%	t_2	t_1
1	100	0	0
2	99,9755859375	3,0703125	1,046875
3	99,951171875	3,0703125	1,0546875
4	99,9267578125	3,0703125	1,0625
5	99,90234375	3,09375	1,0703125
6	99,853515625	3,09375	1,07421875
7	99,8046875	3,09375	1,078125
8	99,755859375	3,09375	1,08203125
9	99,70703125	3,1171875	1,0859375
10	99,609375	3,1171875	1,08984375
11	99,51171875	3,1171875	1,09375
12	99,4140625	3,1171875	1,09765625
13	99,31640625	3,140625	1,1015625
14	99,12109375	3,140625	1,10546875
15	98,92578125	3,140625	1,109375
16	98,73046875	3,140625	1,11328125
17	98,53515625	3,1640625	1,1171875
18	98,14453125	3,1640625	1,12109375
19	97,75390625	3,1640625	1,125
20	97,36328125	3,1640625	1,125
21	96,97265625	3,1875	1,125
22	96,19140625	3,1875	1,125
23	95,41015625	3,1875	1,125
24	94,62890625	3,1875	1,125
25	93,84765625	3,2109375	1,125
26	92,28515625	3,2109375	1,125
27	90,72265625	3,2109375	1,125
28	89,16015625	3,2109375	1,125
29	87,59765625	3,234375	1,125
30	85,05859375	3,234375	1,125
31	85,05859375	3,234375	1,125
32	79,98046875	3,234375	1,125
33	50		
34	25		

Fig.9

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.